Direction des eaux intérieures
Conservation et Protection
Région du Québec

Inland Waters Directorate
Conservation and Protection
Québec Region

Environnement Canada

Environment Canada

ENVIRONNEMENT CANADA
CONSERVATION ET PROTECTION
REGION DU QUEBEC
DIRECTION DES EAUX INTERIEURES

ENVIRONMENT CANADA
CONSERVATION AND PROTECTION
QUEBEC REGION
INLAND WATERS BRANCH

LES ETUDES DU BILAN IONIQUE DU LAC LAFLAMME EN 1985 ET 1986

Canada

LES ETUDES DU BILAN IONIQUE DU LAC LAFLAMME EN 1985 ET 1986.

Par Madeleine Papineau

Environnement Canada
Direction des eaux intérieures
Région du Québec

Août 1988

REMERCIEMENTS

Je remercie tous ceux et celles qui ont participé à l'échantillonnage au lac Laflamme, au travail analytique, aux traitements des données et à la réalisation de ce rapport. L'excellent travail de dessin a été réalisé par Daniel Sauser. En dernier lieu, je tiens à remercier particulièrement Martine Gélineau, Denis Labonté et Floyd Elder.

RESUME

Ce rapport porte sur les cinquième et sixième années des études des effets du transport à distance des polluants atmosphériques sur le bilan ionique du bassin versant calibré du lac Laflamme. Ce lac de tête est situé dans la réserve des Laurentides au nord de la ville de Québec et fait partie de la forêt boréale soumise à des apports atmosphériques de plus de 20 kg SO_4/ha/an.

Les années 1985 et 1986 diffèrent l'une de l'autre par la quantité d'eau reçue par le bassin. Alors que le volume annuel des précipitations en 1985 (128 cm) était près de la moyenne, celui de 1986 était élevé (155 cm). En 1985, la composition des précipitations était dominée par l'ion hydrogène, les sulfates, les nitrates et l'ion ammoniaque. Le pH annuel (4,33) était plus bas que les années précédentes. Près du tiers des dépôts annuels de ces quatre paramètres a eu lieu dans les mois d'avril et de mai 1985.

Durant l'hiver 1985, il y a eu un étiage prononcé, en l'absence de fonte. Les concentrations des paramètres de minéralisation et la conductivité ont atteint des valeurs très élevées. La fonte printannière a eu lieu du 26 mars au 17 mai 1985 et il y a eu trois dilutions importantes dans le système lacustre. Le pH moyen annuel de l'eau du lac était de 6,4 et l'alcalinité était de 5,5 mg/l. Les concentrations de sulfates et d'aluminium ont poursuivi leur tendance à la hausse et leurs concentrations et leurs exportations annuelles ont été élevées.

En 1986, les pluies importantes ont contribué à diminuer les concentrations des éléments majeurs dans les eaux de surface par rapport à celles de 1985. Il n'y a pas eu de diminution dans les moyennes annuelles du potassium, des chlorures, du phosphore, de la couleur et des métaux traces (Al, Mn, Zn). Le pH moyen des eaux du lac a augmenté à 6,5 et l'alcalinité moyenne est descendue à 5,1 mg/l. Cette diminution importante de l'alcalinité a fait que le ruisseau est passé d'un système dominé par les bicarbonates et le calcium à un système dominé par les sulfates et le calcium.

Durant l'hiver, il y a eu quelques fontes mais l'événement principal a eu lieu entre le 30 mars et le 2 mai 1986. Le 30 avril et le 1er mai les débits ont été exceptionnellement forts à l'exutoire et les dilutions ont été très prononcées. En plus d'avoir eu des diminutions importantes du niveau des nitrates dans le lac durant l'hiver et le printemps, les tendances à la hausse des sulfates et de l'aluminium se sont renversées en 1986. Malgré les exportations importantes de plusieurs paramètres en 1986, les exportations des nitrates et de l'ion hydrogène sont descendues à leurs plus bas niveaux en six ans.

ABSTRACT

This report deals with the results obtained during the fifth and sixth years of the study of the effects of long range transport on the ion budget of the Laflamme Lake Calibrated Watershed. This headwater lake is located in the Laurentide Reserve north of Quebec City and is part of the boreal forest ecosystem subjected to sulfate loading above 20 kg/ha/yr.

The years 1985 and 1986 differed from each other by the amount of water received by the watershed. The volume of precipitation in 1985 (128 cm) has close to average, while that of 1986 (155 cm) has high. In 1985, the chemical concentration of precipitation was dominated by hydrogen ions, sulfate, nitrate and ammonium ions. The annual pH (4,33) was lower than previous years. Almost one third of annual deposition for these four main ions occured in April and May 1985.

Water levels were very low in the winter of 1985 and there was no melting. The concentration of weathering elements and conductivity thus reached very high levels. Spring melt spanned from March 26 to May 17, 1985 and three important dilutions occured in the lake system. The average annual pH of lake water was 6,4 and that of alkalinity 5,5 mg/l. Increasing trends for sulfates and aluminium carried on and both their concentrations and their yearly outputs were high.

In 1986, the large amount of rain contributed to a decrease in the concentration of major ions in surface waters as compared to 1985 levels. However there were no decreases in annual average potassium, chloride, phosphorus, color and trace metals (Al, Mn, Zn). The average annual pH of lakewater increased to 6,5 and the average alkalinity dropped to 5,1 mg/l. At the outlet, this important decrease in alkalinity led to a shift from a calcium bicarbonate system to a calcium sulfate system.

During the winter there were several thaws but spring melt occured from March 30 to May 2 1986. On April 30 and May 1, 1986, streamflow reached exceptionnally high levels and there were important dilutions at the outlet. Besides the very low levels of nitrate in lake water in winter and spring, the increasing trends in sulfates and aluminium were reversed in 1986. Even though exports of most ions were very high in 1986, the exports of nitrate and hydrogen ions decreased to their lowest levels in six years.

Table des matières

	Page
Remerciements	v
Résumé	vii
Abstract	ix
Table des matières	xi
Liste des tableaux	xiii
Liste des figures.	xv
Introduction	1
1. Description du bassin	2
2. Méthodologie	4
2.1 Précipitations	4
2.2 Paramètres de la fonte	6
2.3 Lac et exutoire	6
2.4 Gestion et validation des données	7
3. Description du système en 1985 et 1986	9
3.1 Paramètres descriptifs	9
3.1.1 Paramètres quantitatifs	9
3.1.2 Paramètres qualitatifs	12
3.2 Dynamique du système en 1985	34
3.2.1 Hiver 1985	34
3.2.2 Fonte printanière 1985	41
3.2.3 Eté 1985	58
3.2.4 Automne 1985	60
3.3 Dynamique du système en 1986	62
3.3.1 Hiver 1986	62
3.3.2 Fonte printanière 1986	70
3.3.3 Eté 1986	78
3.3.4 Automne 1986	80
4. Tendance dans la qualité et les charges de 1981 à 1986	82
4.1 Tendance pour les précipitations	82
4.2 Tendance dans la qualité de l'eau	88
Conclusion	97
Bibliographie	99
Annexe 1	101
Annexe 2	105

LISTE DE TABLEAUX

		Page
1 -	Caractéristiques du bassin versant du lac Laflamme.....	3
2 -	Méthodes analytiques pour les précipitations, la neige, les eaux de fonte et les eaux de surface.....	5
3 -	Valeurs absentes de la banque de données de la qualité des eaux du lac et de l'exutoire pour 1985 et 1986.....	8
4 -	Précipitations et écoulements mensuels au lac Laflamme en 1985.....	10
5 -	Précipitations et écoulements mensuels au lac Laflamme en 1986.....	11
6 -	Moyennes annuelles pondérées des paramètres de qualité dans les précipitations au lac Laflamme.....	15
7 -	Moyennes mensuelles pondérées des paramètres de qualité des précipitations au lac Laflamme en 1985.....	16
8 -	Apports atmosphériques mensuels de 1985 (kg/ha).....	17
9 -	Statistiques annuelles des paramètres chimiques de l'eau du lac et de l'exutoire en 1985.....	21
10 -	Stastistiques annuelles des paramètres chimiques de l'eau du lac et de l'exutoire en 1986.....	22
11 -	Composition relative de l'eau du lac.....	24
12 -	Composition relative de l'eau de l'exutoire.....	25
13 -	Exportations mensuelles à l'exutoire en 1985 (kg/ha).....	33
14 -	Exportations mensuelles à l'exutoire en 1986 (kg/ha).....	35
15 -	Bilan ionique du lac Laflamme (kg/ha).....	36
16 -	Qualité des précipitations, du couvert de neige et des eaux de surface pendant l'hiver 1985.....	39
17 -	Qualité et charge de la neige pendant la fonte intermittente de 1985.....	44

Page

18 - Qualité des précipitations, du couvert de neige et de l'eau de fonte durant deux périodes de la fonte de 1985... 50

19 - Qualité des précipitations et des eaux de surface durant l'été et l'automne 1985..... 59

20 - Moyennes saisonnières des paramètres de qualité de l'eau..... 66

21 - Charges saisonnières à l'exutoire de 1981 à 1986 (kg/ha).. 68

22 - Qualité des eaux de fonte en 1986..... 72

23 - Charges mesurées à trois stations du réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec..... 84

24 - Charges annuelles dans les précipitations au lac Laflamme..... 87

25 - Tendance dans la qualité de l'eau de juin 1981 à décembre 1986..... 90

26 - Tendance dans la qualité de l'eau par période de trois ans..... 93

27 - Charges annuelles exportées à l'exutoire (kg/ha)..... 95

LISTE DES FIGURES

Page

1 - Les précipitations et l'écoulement par année hydrologique dans le bassin du lac Laflamme..... 12

2 - Température (°C) de l'eau au centre du lac Laflamme de 1984 à 1986..... 18

3 - Saturation en oxygène dissous (%) au centre du lac Laflamme de 1984 à 1986..... 19

4 - Evolution temporelle de l'alcalinité, du calcium, du sodium, du magnésium, du potassium et de l'aluminium dans l'eau du lac Laflamme..... 27

5 - Evolution temporelle de l'ion hydrogène, des sulfates, des chlorures et des nitrates dans l'eau du lac Laflamme.. 28

6 - Evolution temporelle de l'alcalinité, du calcium, du sodium, du magnésium, du potassium et de l'aluminium dans l'eau à l'exutoire du lac Laflamme..... 29

7 - Evolution temporelle de l'ion hydrogène, des sulfates des chlorures et des nitrates dans l'eau à l'exutoire du lac Laflamme..... 30

8 - Evolution temporelle de la couleur, de la conductivité, du fer, du phosphore, du manganèse et du zinc dans l'eau à l'exutoire du lac Laflamme..... 31

9 - Précipitations, neige au sol, eau de fonte, eau souterraine et hydrogramme du lac Laflamme en 1985..... 38

10 - Paramètres hydrométéorologiques durant la fonte de 1985..... 43

11 - pH dans les différentes composantes durant la fonte intermittente de 1985..... 46

12 - Evolution des sulfates et des nitrates dans la neige et dans le lac durant la fonte intermittente de 1985..... 47

13 - Les charges de l'ion hydrogène dans le couvert de neige et les précipitations et les concentrations dans l'eau de fonte durant la fonte massive de 1985..... 52

Page

14 - Les charges des nitrates dans le couvert de neige et les précipitations et les concentrations dans l'eau de fonte durant la fonte massive de 1985..... 53

15 - Les charges de sulfates dans le couvert de neige et les précipitations et les concentrations dans l'eau de fonte durant la fonte massive de 1985..... 54

16 - Evolution du pH, du carbone organique dissous (COD), de l'aluminium filtrable, de l'aluminium extractible et de l'aluminium dialysable extractible dans le tributaire.... 55

17 - Précipitations journalières, débits à l'exutoire et accumulation de neige en 1986..... 63

18 - Précipitations et écoulement par saison pour le lac Laflamme..... 64

19 - Paramètres hydrométéorologiques durant la fonte de 1986..... 71

20 - Conductivité et pH des eaux de fonte en 1986..... 73

21 - Concentrations mensuelles des paramètres dans les précipitations..... 86

22 - Tendance dans la qualité de l'eau du lac Laflamme de 1981 à 1986..... 91

INTRODUCTION

Au courant de l'année 1985, un pas important a été effectué dans le dossier des précipitations acides. Une entente a été conclue entre le gouvernement fédéral et les provinces de l'est du Canada pour diminuer les émissions d'anhydride sulfureux de 50% d'ici 1994. Ce type d'émissions ainsi que celles des oxydes d'azote sont reliés à l'acidification des milieux lacustres en zone sensible telle que sur le Bouclier canadien.

Les effets du transport à distance des oxydes de souffre et d'azote sur les différentes composantes de la forêt boréale sont étudiés au bassin calibré du lac Laflamme depuis 1981. A ce site, on travaille à établir et à quantifier les réponses géochimiques du bassin à des apports de sulfates humides de plus de 20 kg/ha/an à l'aide entre autre des études de bilan ionique. Ainsi, on a pu mettre en évidence l'acidification épisodique du lac Laflamme durant les fontes et les pluies importantes, la capacité de récupération du milieu aquatique à ces courtes périodes d'acidification et la capacité de neutralisation des sols et des dépôts meubles du bassin versant.

Les données qualitatives et quantitatives de 1985 et 1986 reliées aux précipitations, au couvert de neige, aux eaux de fonte, au bassin lacustre et à l'exutoire seront présentées dans ce rapport. Deux aspects différents seront traités: la dynamique du bassin versant en 1985 et 1986 ainsi que les tendances temporelles de la qualité des précipitations et des eaux de surface pour la période de 1981 à 1986.

1. DESCRIPTION DU BASSIN

Le bassin versant du lac Laflamme se trouve à 80 km au nord de la ville de Québec (47° 19'; 71° 07') dans la réserve des Laurentides. Ce lac de tête est situé sur le Bouclier canadien à une altitude de 777 m. Le bassin versant occupe 68,4 ha. Le site est caractérisé par des précipitations annuelles abondantes (1,3 m) et une accumulation de neige importante. La forêt à dominance de sapins baumiers repose sur un podzol ferro-humique acide et des dépôts meubles composés de till et de moraine d'une épaisseur moyenne de 4 à 5 m sur les versants. La roche en place s'altère peu et se compose surtout de gneiss charnockitiques.

Le lac lui-même est petit (6,1 ha) et peu profond (max = 5,3 m) avec un temps de résidence court d'environ deux mois. Sa recharge est assurée principalement par l'eau souterraine et par un ou deux ruisseaux à l'est du bassin. La décharge du lac est un ruisseau à l'ouest du bassin.

L'eau du lac est faiblement minéralisée avec une conductivité moyenne de 24 μS/cm et a une couleur de 24 unités. Bien que l'eau soit peu acide durant la plus grande partie de l'année (pH = 6,3), il y a des dépressions marquées du pH et de l'alcalinité à la fonte des neiges ou lors de précipitations très importantes. Divers autres caractéristiques sont présentées au tableau 1.

TABLEAU 1

CARACTERISTIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC LAFLAMME

Latitude	47°19'
Longitude	71°07'
Superficie totale du bassin	0,684 km^2
Altitude (min)	777 m
Altitude (max)	884 m
Pente (min)	0%
Pente (max)	30%
Pente moyenne arithmétique	8,6%
Superficie du lac	0,061 km^2
Longueur du lac	1,02 km
Profondeur du lac (max)	5,3 m
Profondeur du lac (moy)	2,05 m
Volume du lac	125 X 10^3 m^3
Assise rocheuse	gneiss charnockitiques
Dépôts meubles	moraine de fond, till délavé
Epaisseur des dépôts	environ 4 m sur les pentes 15 - 20 m sous le lac
Type de sol	podzol ferro-humique orthique
Drainage	de bon à imparfait
Perméabilité (dépôts)	1,5 X 10^{-3} cm/s
Végétation	sapin baumier (Abies balsamea) épinette blanche (Picea glauca) bouleau à papier (Betula papyrifera)
Macrophytes	Nuphar, Eleocharis, Carex, Sagittaria
Faune ichtyologique	omble de fontaine (Salvelinus fontinalis)
Charge du lac	petits ruisseaux et résurgences; l'écoulement souterrain est important
Décharge du lac	un ruisseau principal
Temps de renouvellement	environ 2 mois
Débits (min)	< 0,001 m^3/s (9/1/85)
Débits (max)	0,351 m^3/s (1/5/86)
Prise des glaces:	mi-novembre
Départ des glaces:	mi-mai
Précipitation annuelle (moy)	1,3 m
Données de la Forêt Montmorency	
Température de l'air (max)	34°C
Température de l'air (min)	-41°C
Température de l'air (moy)	0,2°C
Période sans gel	135 jours

2. METHODOLOGIE

Les programmes d'échantillonnage ont commencé sur une base régulière le 4 décembre 1980 à la station des précipitations et les 8 janvier 1981 et 16 mars 1981 respectivement au lac et à l'exutoire. L'échantillonnage des précipitations est la responsabilité des services de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada. Les données sur le couvert de neige et les eaux de fonte proviennent du projet de modélisation de la qualité de la fonte de G. Jones. La Direction des eaux intérieures d'Environnement Canada s'occupe des niveaux d'eau et de l'échantilonnage de l'eau au lac et à l'exutoire.

2.1 Précipitations

Les mesures de la chimie des précipitations ont été effectuées sur une base journalière à la station Montmorency du réseau canadien d'échantillonnage des précipitations et de l'air (RCEPA/CAPMoN) à proximité du lac. Les précipitations ont été récoltées dans un échantillonneur de précipitations humides de type Sangamo. Le volume des précipitations a été obtenu par un échantillonneur standard de pluie et de neige du service canadien de météorologie. Les échantillons ont été mis en bouteille individuellement, conservés à 4°C sans préservatif et envoyés dans des récipients refroidis toutes les deux semaines au laboratoire national de qualité de l'eau à Burlington. Les analyses de pH, sulfates, nitrates, chlorures, ion ammonium, calcium, magnésium, sodium et potassium ont été effectuées selon les méthodes décrites dans le tableau 2.

TABLEAU 2

METHODES ANALYTIQUES POUR LES PRECIPITATIONS, LA NEIGE, LES EAUX DE FONTE ET LES EAUX DE SURFACE

PARAMETRE	PRECIPITATION[1]	NEIGE ET[2] EAUX DE FONTE	LAC ET EXUTOIRE	CODE NAQUADAT LAC EXUTOIRE
pH	Electrométrie	Electrométrie	Electrométrie	10301L
Ca	Abs. at.	Abs. at.	Abs. at.	20103L
Mg	Abs. at.	Abs. at.	Abs. at.	12102L
Na	Photométrie par flamme	Abs. at.	Abs. at.	11105L
K	Photométrie par flamme	Abs. at.	Abs. at.	19102L
NH_4	Colorimétrie	Colorimétrie	Colorimétrie	7555P
SO_4	Chrom. ionique	Chrom. ionique	Chrom. ionique	16309L
			Colorimétrie	16306L
Cl	Chrom. ionique	Chrom. ionique	Colorimétrie	17203L
NO_3	Chrom. ionique	Chrom. ionique	Colorimétrie	7112L
P Total			Digestion + col.	15406P
Conductivité		Electrométrie	Electrométrie	2041L
Couleur		Comp.visuel	Comp. visuel	2011L
Alcalinité total		Titration	Titration H_2SO_4	10101L
Alcalinité Gran		Tritation	Titration HCl	10110L
Dureté			Tritration	10603L
SiO_2			Colorimétrie	14105L
COD			Infrarouge	06104L
CID			Infrarouge	06180L
Al		Abs. at. (fourn.)	Abs. at.	13003P
Mn		Abs. at. (fourn.)	Abs. at.	25005P
Cd			Abs. at.	48002P
Cu			Abs. at.	29005P
Fe			Abs. at.	26005P
Ni			Abs. at.	28002P
Zn			Abs. at.	30005P
Pb			Abs. at.	82002P

1 Vet et al. (1986)
2 Jones et al. (1986)

2.2 Paramètres de la fonte

En 1985, le couvert de neige a été échantillonné au moyen d'un carottier de type Adirondak (Gamma) à cinq stations et les échantillons ont été homogénéisés ensembles pour donner un seul échantillon (Jones et al., 1986). Les eaux de fonte ont été recueillies par un lysimètre (1 m^2) en fibre de verre gris. Les décharges du lysimètre ont été récoltées dans un récipient en plastique de 45 litres. Il y a également eu des prélèvements ponctuels d'eau au centre du lac (50 cm, 2 m, 4 m) avec une bouteille de 4 litres de type Van Dorn. Les méthodes d'analyse sont également données au tableau 2.

2.3 Lac et exutoire

Le niveau du lac et le débit à l'exutoire ont été mesurés sur une base continue par des limnigraphes. Le seuil jaugeur a été réchauffé l'hiver pour prévenir le gel complet du ruisseau.

Deux séries d'échantillons d'eau ont été prélevées à chaque semaine: une à partir d'un échantillonnage intégré de 0 à 4 m au centre du lac et une deuxième série à l'exutoire. Des mesures sur le terrain de conductivité, de température et d'oxygène dissous ont été effectuées au centre du lac à des profondeurs de 50 cm, 1 m, 2 m, 3 m, 4 m. Les échantillons gardés à 4°C ont été envoyés immédiatement au laboratoire régional de Longueuil pour l'analyse des cations majeurs (Ca, Mg, Na, K), des anions majeurs (SO_4, Cl, NO_3), de la conductivité, du pH, de l'alcalinité (totale et Gran), de la couleur et du phosphore. A tous les deux mois, depuis mai 1985, des analyses supplémentaires de silice, d'ion ammonium, de sulfates par chromatographie, de carbone organique

dissous (COD) et de carbone inorganique dissous (CID) ont été effectuées sur l'échantillon du centre du lac conjointement avec le réseau TADPA-Québec. Les échantillons acidifiés pour l'analyse des huits métaux traces (Al, Mn, Fe, Pb, Ni, Cu, Zn, Cd) ont été envoyés à tous les trois mois au laboratoire national de la qualité de l'eau à Burlington. Les méthodes analytiques employées ainsi que leurs codes sont présentés dans le tableau 2.

2.4 Gestion et validation des données

Les données de précipitations ont été soumises à un contrôle de qualité interne et archivées au bureau du service de l'environnement atmosphérique avec le système de gestion de données climatologiques du Centre canadien du climat. Les données publiées sont accompagnées de commentaires de validation propres à chaque jour. Généralement en 1985, près de 95% du volume mensuel standard a été analysé. Dans le cas de certaines journées au mois de février (19-24), mars (2,4,6-14), avril (10-15) et décembre (18-31) les précipitations totales au lieu des précipitations humides ont été récoltées et les résultats ont été utilisés pour les analyses car leur exclusion biaisait plus que le fait d'inclure une composante de dépôts secs.

Les données de qualité de l'eau sont archivées dans la banque NAQUADAT sous les numéros 01QU02PD0001 et 00QU02PD0001. La validation des données est effectuée avec des calculs de différences ioniques et une étude des valeurs extrêmes. Les séries incomplètes et les données identifiées comme douteuses lors de la validation sont présentées au tableau 3.

TABLEAU 3

VALEURS ABSENTES DE LA BANQUE DE DONNEES DE LA QUALITE DES EAUX DU LAC ET DE L'EXUTOIRE POUR 1985 ET 1986

Date	Paramètres	Lac	Exutoire	Pas analysé	Valeurs non validées
1985					
3 janv. 85	pH, Alc, Cond, Coul, NO_3	X	X	X	
8 janv. 85	P	X	X	X	
29 janv. 85	SO_4, Alc	X			9,3 et 0,66
5 fév. 85	Coul.	X			4
19 fév. 85	pH, Alc		X		5,7 et 1,1
26 mars 85	NO_3	X			0,15
30 avr. 85	SO_4	X	X	X	
4 juin 85	Coul.		X		4
18 juin 85	Alc		X		X
2 juil 85	Cl	X	X	X	
17 déc. 85	P		X	X	
31 déc. 85	tous	X	X	X	
1986					
14 janv. 86	Cl		X		0,6
21 janv. 86	Cl	X			0,85
4 fév. 86	Cl, Na, K	X			1,1 1,4 0,5
11 fév. 86	Ca		X		3,4
25 fév. 86	Cond	X	X		38,3 et 36
3 avr. 86	pH, Alc		X		4,0 et -3,4
8 avr. 86	NO_3	X		X	
29 juil. 86	Cl		X		0,2
2 sept. 86	Al	X			0,271
2 déc. 86	pH	X			7,1
16 déc. 86	Na, K	X			1,3 et 0,37
16 déc. 86	métaux trace		X	X	

3. DESCRIPTION DU SYSTEME EN 1985 ET 1986

Dans un premier temps, les données quantitatives et qualitatives recueillies en 1985 et 1986 ont été compilées sur des bases annnuelles ou mensuelles pour permettre une synthèse des résultats. Subséquemment, la recherche d'interrelation entre les différentes composantes sera effectuée sur un pas de temps plus court pour chaque année.

3.1 Paramètres descriptifs.

3.1.1. Paramètres quantitatifs

Les deux composantes les plus importantes du bilan hydrique sont les précipitations atteignant le bassin et l'écoulement à l'exutoire. Les deux années à l'étude présentent des comportements hydriques différents qui se répercutent sur les paramètres de qualité de l'eau.

Le volume des précipitations (128,4 cm) et le débit à l'exutoire (82,2 cm) en 1985 ont été près des moyennes de six ans alors qu'en 1986, 155,1 cm d'eau ont été reçus par le bassin et 107,2 cm ont été évacués par l'exutoire soit au moins 18% de plus que les moyennes (tableaux 4 et 5). Dans l'année hydrologique de juin 1985 à mai 1986, des 134 cm de précipitations, 48,5 cm étaient sous forme de neige (36,6%) et 95,3 cm (71,1%) quittaient le bassin versant par l'exutoire (figure 1). Ces valeurs sont légèrement au-dessus des moyennes pour cinq années hydrologiques qui sont de 131 cm, 44 cm (34%) et 85 cm (65%) respectivement.

TABLEAU 4 PRECIPITATIONS ET ECOULEMENTS MENSUELS AU LAC LAFLAMME EN 1985

Mois	Précipitation Capmon (mm)	Neige Capmon (mm)	Précipitation Bassin (mm)	Neige Bassin (mm)	Débit total (mm)	Débit total (m^3/s)	Débit moyen (m^3/s)	Débit maximum (m^3/s)	Débit minimum (m^3/s)	Evaporation Bac (mm)
Janvier	56,6	56,6	54,9	54,9	19,8	0,157	0,005	0,013	0,000	0,0
Février	104,5	104,5	101,4	101,4	16,9	0,134	0,005	0,008	0,003	0,0
Mars	93,2	89,2	90,4	86,5	16,0	0,127	0,004	0,008	0,002	0,0
Avril	111,4	36,0	108,1	34,9	49,0	0,388	0,013	0,053	0,003	0,0
Mai	146,5	8,5	142,1	8,2	277,9	2,200	0,071	0,182	0,025	40,4
Juin	123,5	0,0	119,8	0,0	116,2	0,920	0,031	0,068	0,015	84,8
Juillet	197,0	0,0	191,1	0,0	99,1	0,785	0,025	0,061	0,012	124,1
Août	49,2	0,0	47,7	0,0	35,5	0,281	0,009	0,017	0,005	98,6
Septembre	119,1	0,0	115,5	0,0	29,8	0,236	0,008	0,034	0,003	65,5
Octobre	120,5	7,3	116,9	7,1	67,1	0,531	0,017	0,045	0,009	8,0
Novembre	89,6	41,9	86,9	40,6	48,9	0,387	0,013	0,025	0,008	0,0
Décembre	112,4	71,6	109,0	69,5	45,8	0,363	0,012	0,029	0,006	0,0
Annuel	1324	416	1284	403	822	6,509				421,4

TABLEAU 5 PRECIPITATIONS ET ECOULEMENTS MENSUELS AU LAC LAFLAMME EN 1986

Mois	Précipitation Capmon (mm)	Neige Capmon (mm)	Précipitation Bassin (mm)	Neige Bassin (mm)	Débit total (mm)	Débit total (m^3/s)	Débit moyen (m^3/s)	Débit maximum (m^3/s)	Débit minimum (m^3/s)	Evaporation Bac (mm)
Janvier	176,3	152,1	171,0	147,5	36,5	0,289	0,009	0,037	0,003	0,0
Février	20,7	20,7	20,1	20,1	16,0	0,127	0,005	0,008	0,003	0,0
Mars	106,8	101,4	103,6	98,4	20,7	0,164	0,005	0,009	0,003	0,0
Avril	105,9	90,1	102,7	87,4	186,0	1,473	0,049	0,334	0,009	0,0
Mai	160,1	14,9	155,3	14,5	251,2	1,989	0,064	0,351	0,018	0,0
Juin	179,8	0,6	174,4	0,6	118,3	0,937	0,031	0,085	0,014	127,7
Juillet	174,7	0,0	169,5	0,0	116,8	0,925	0,030	0,130	0,011	106,2
Août	155,6	0,0	150,9	0,0	78,4	0,621	0,020	0,033	0,013	88,7
Septembre	149,2	0,0	144,7	0,0	76,8	0,608	0,020	0,057	0,010	50,9
Octobre	93,8	11,8	91,0	11,4	77,4	0,613	0,020	0,027	0,012	0,0
Novembre	132,8	99,2	128,8	96,2	57,6	0,456	0,015	0,029	0,010	0,0
Décembre	143,7	138,5	139,4	134,3	36,0	0,285	0,009	0,020	0,006	0,0
Annuel	1599	629	1551	610	1072	8,487				373,5

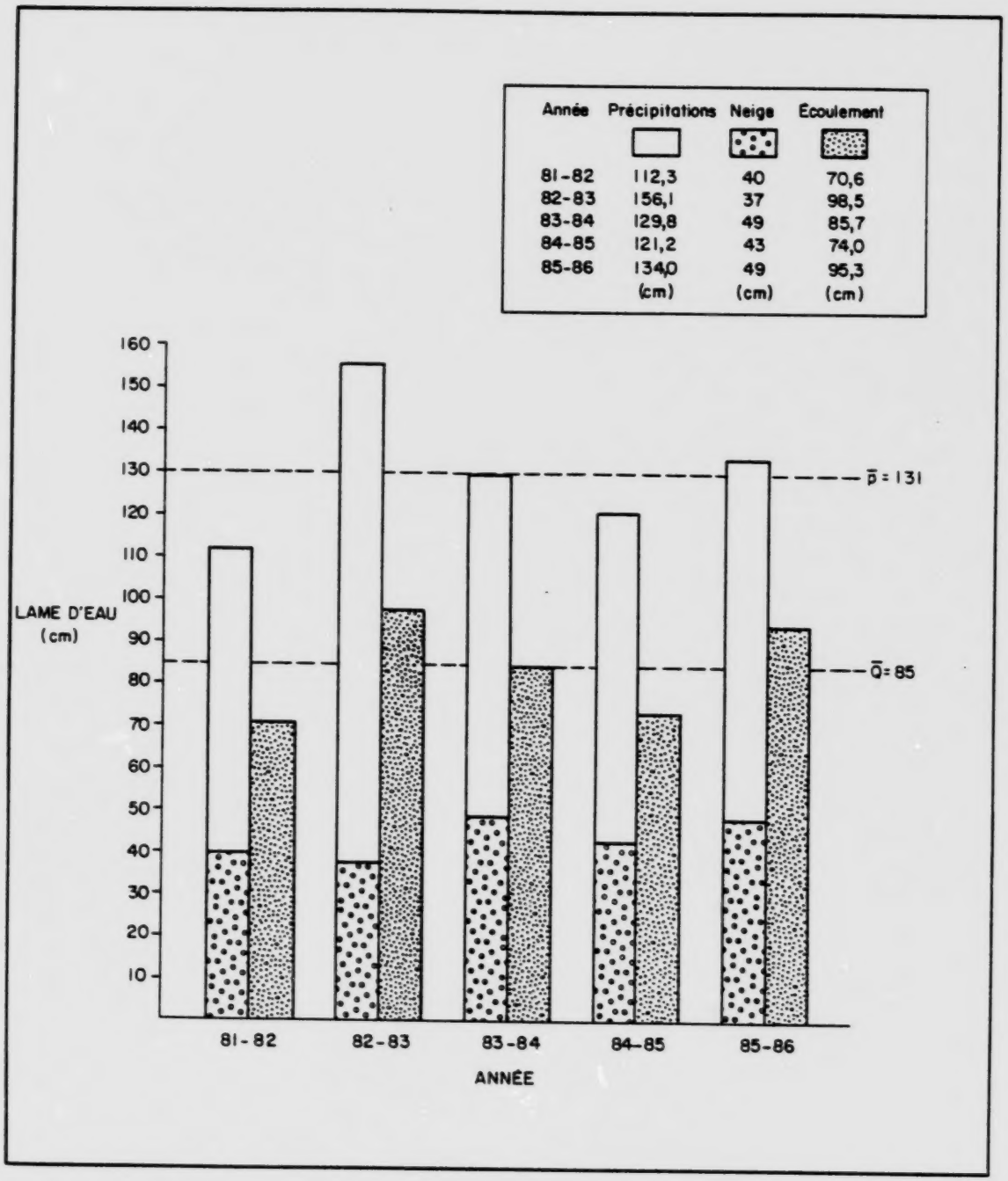

Figure 1: **Les précipitations et l'écoulement par année hydrologique dans le bassin du lac Laflamme**

La période des plus fortes précipitations a eu lieu de mai à juillet les deux années soit au total 45,3 cm (35%) en 1985 et 49,9 cm (32%) en 1986. De très fortes chutes de neige sont également tombées en janvier 1986. Des événements apportant plus de 40 mm d'eau ont eu lieu le 27 septembre en 1985 et le 26 janvier, le 10 mars, le 16 juin et le 6 juillet en 1986.

Durant l'année, les débits les plus élevés sont généralement mesurés à la fonte des neiges. Les écoulements mensuels de mai étaient de 27,8 cm d'eau en 1985 et 25,1 cm en 1986. L'écoulement du mois d'avril était également fort en 1986 (18,6 cm,) mais beaucoup moins élevé en avril 1985 (4,9 cm). Le débit journalier a atteint un maximum de 0,351 m^3/s le 1er mai 1986 soit deux fois plus fort que les débits de pointe mesurés les autres printemps.

A l'autre extrême, les débits mensuels les plus bas sont mesurés surtout en hiver. L'écoulement était de seulement 1,6 cm en mars 1985 et en février 1986. Le débit journalier le plus faible pour les deux ans fut mesuré le 9 janvier 1985 (<0,001 m^3/s). En 1986, le débit n'est pas descendu sous 0,003 m^3/s.

3.1.2 Paramètres qualitatifs

Du côté des paramètres qualitatifs, cette description portera sur les données de précipitations de 1985 seulement ainsi que les données de la qualité des eaux de surface de 1985 et 1986. En 1985, la composition des précipitations était encore une fois dominée par l'ion hydrogène

(46,5 µeq/l), les sulfates (36,4 µeq/l), les nitrates (22,1 µeq/l) et l'ion ammonium (12,9 µeq/l). Il y a eu une augmentation des concentrations de l'ion hydrogène et des nitrates par rapport aux années précédentes (tableau 6). Le pH annuel est descendu à 4,33. Le pH mensuel le plus bas (3,9) a été mesuré au mois d'avril. La moyenne annuelle des sulfates était légèrement plus faible qu'en 1984. Les concentrations de sulfates étaient très élevées en avril et mai alors que les concentrations de nitrates étaient élevées de février à mai 1985 (tableau 7).

Les charges atmosphériques sont obtenues par le produit du volume journalier des précipitations par la concentration de l'élément dans l'échantillon. Il en résulte qu'en 1985, les apports sont de 23 kg/ha de sulfate, 0,62 kg/ha de l'ion hydrogène et 4,1 kgN/ha de nitrates (tableau 8). Près du tiers des dépôts annuels de ces trois paramètres a eu lieu aux mois d'avril et mai. Le mois de juillet pour sa part a contribué à plus de 10% de la charge annuelle de ces mêmes ions.

A partir des données physiques recueillies sur le terrain en 1985 et 1986, des isolignes de température et d'oxygène dissous ont été tracés pour le centre du lac (figures 2 et 3). On peut y déceler plusieurs phénomènes physiques qui influencent la qualité de l'eau. Ainsi, l'hiver une épaisse couche de glace se forme. La diminution des échanges avec l'air libre fait qu'une stratification thermique inverse se développe sous le couvert de glace et qu'il y a une diminution des concentrations en oxygène dissous en profondeur. Il y a aussi des périodes d'isothermie en mai et de septembre à octobre qui permettent un

TABLEAU 6

MOYENNES ANNUELLES PONDEREES DES PARAMETRES DE QUALITE DANS LES PRECIPITATIONS AU LAC LAFLAMME

Ion	1981			1982			1983			1984			1985		
	mg/l	µeq/l	%	mg/l	µeq/l	%	mg/l	µeq/l	%	mg/l	µeq/l	%	mg/l	µeq/l	%
H^+	0,03	27,6	59	0,04	41,5	69	0,03	31,1	59	0,04	44,2	63	0,04	46,5	69
NH_4^+	0,13	9,3	20	0,15	10,5	17	0,16	11,4	22	0,20	13,9	20	0,18	12,9	19
Ca^{++}	0,09	4,6	10	0,07	3,7	6	0,11	5,6	11	0,16	8,1	11	0,09	4,5	7
Na^+	0,08	3,7	8	0,08	3,5	6	(0,06	2,8	5)	(0,03	1,3	2)	0,03	1,3	2
Mg^{++}	0,01	1,2	2	0,01	0,8	1	0,02	1,3	2	0,02	1,9	3	0,02	1,6	2
K^+	0,02	0,5	1	0,02	0,5	1	0,02	0,6	1	0,03	0,7	1	0,02	0,5	1
SO_4^{--}	1,44	30,0	64	1,77	36,9	61	1,40	29,0	61	2,06	42,9	59	1,75	36,4	59
NO_3^-	0,20	14,5	31	0,26	18,9	31	0,19	13,5	29	0,30	21,7	30	0,31	22,1	36
Cl^-	0,08	2,1	5	0,17	4,7	8	0,16	4,6	10	(0,29	8,1	11)	0,10	2,8	5
pH	4,56			4,38			4,51			4,36			4,33		
Anions		46,6			60,5			47,1			72,7			61,3	
Cations		46,9			60,5			52,8			70,1			67,3	

( ) : Volume analysé est inférieur à 50% du volume total.

TABLEAU 7

MOYENNES MENSUELLES PONDEREES DES PARAMETRES DE QUALITE DES PRECIPITATIONS AU LAC LAFLAMME EN 1985

Mois	pH	H µg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	NH_4 mgN/l	SO_4 mg/l	Cl mg/l	NO_3 mgN/l
Janvier	4,5	29,2	0,04	0,01	0,06	0,03	0,02	0,69	0,05	0,25
Février	4,4	41,2	0,04	0,01	0,07	0,02	0,06	0,70	0,15	0,41
Mars	4,3	54,7	0,13	0,02	0,05	0,01	0,16	1,33	0,12	0,46
Avril	3,9	116,5	0,08	0,01	0,02	0,01	0,24	3,32	0,11	0,41
Mai	4,2	58,0	0,28	0,04	0,04	0,03	0,41	3,61	0,12	0,45
Juin	4,5	34,8	0,14	0,02	0,02	0,02	0,24	1,96	0,09	0,24
Juillet	4,4	37,4	0,07	0,01	0,01	0,01	0,21	1,81	0,07	0,22
Août	4,3	54,3	0,05	0,01	0,04	0,02	0,17	2,31	0,10	0,23
Septembre	4,8	15,2	0,02	0,01	0,01	0,01	0,07	0,64	0,07	0,10
Octobre	4,4	38,3	0,04	0,01	0,01	0,01	0,13	1,61	0,10	0,25
Novembre	4,4	36,6	0,02	0,01	0,03	0,01	0,11	1,16	0,11	0,26
Décembre	4,3	44,9	0,03	0,01	0,03	0,01	0,09	0,76	0,14	0,44

TABLEAU 8. APPORTS ATMOSPHERIQUES MENSUELS DE 1985 (kg/ha)

Mois	H^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	$N\text{-}NH_4^+$	SO_4^{--}	Cl^-	$N\text{-}NO_3^-$
Janvier	0,017	0,02	0,008	0,03	0,017	0,01	0,39	0,03	0,14
%	2	1	3	8	8	0	1	2	3
Février	0,043	0,05	0,012	0,07	0,020	0,06	0,73	0,15	0,43
%	6	4	5	18	9	2	3	11	10
Mars	0,051	0,12	0,018	0,05	0,013	0,15	1,24	0,11	0,43
%	8	10	8	12	6	6	5	8	10
Avril	0,130	0,08	0,016	0,03	0,015	0,27	3,70	0,13	0,46
%	21	7	7	6	7	11	16	9	11
Mai	0,085	0,42	0,064	0,05	0,038	0,59	5,29	0,18	0,67
%	13	36	30	13	18	25	22	13	16
Juin	0,043	0,17	0,027	0,02	0,022	0,29	2,42	0,11	0,30
%	6	14	12	6	10	12	10	8	7
Juillet	0,074	0,13	0,027	0,03	0,029	0,42	3,60	0,14	0,44
%	12	11	12	6	13	18	15	10	10
Août	0,027	0,03	0,005	0,02	0,009	0,08	1,14	0,05	0,11
%	4	2	2	5	4	3	4	3	2
Septembre	0,018	0,02	0,009	0,02	0,012	0,08	0,77	0,09	0,12
%	2	2	4	4	5	3	3	6	2
Octobre	0,046	0,05	0,011	0,02	0,013	0,16	1,95	0,12	0,30
%	7	4	5	3	6	6	8	9	7
Novembre	0,033	0,01	0,007	0,02	0,007	0,10	1,04	0,10	0,24
%	5	1	3	5	3	4	4	7	5
Décembre	0,050	0,04	0,009	0,03	0,011	0,10	0,86	0,15	0,49
%	8	3	4	8	5	4	3	11	11
Total	0,617	1,15	0,213	0,39	0,205	2,32	23,12	1,35	4,12

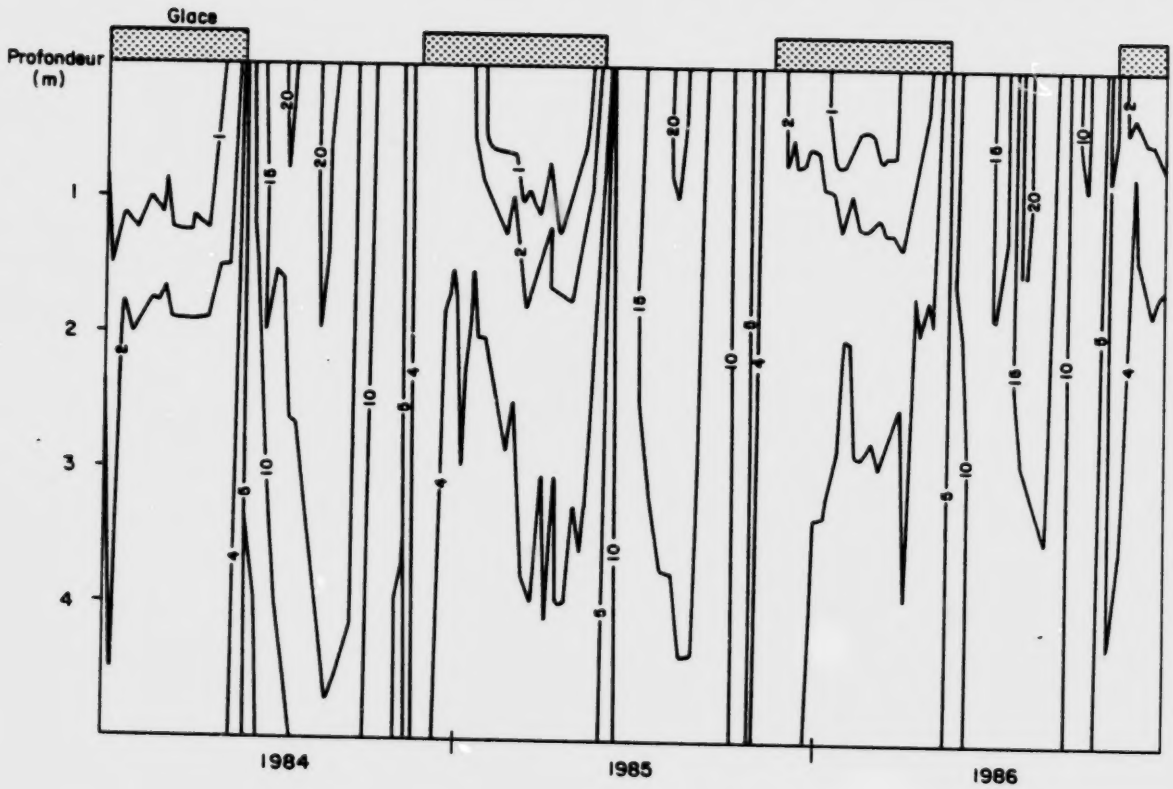

Figure 2: **Température (°C) de l'eau au centre du lac Laflamme de 1984 à 1986**

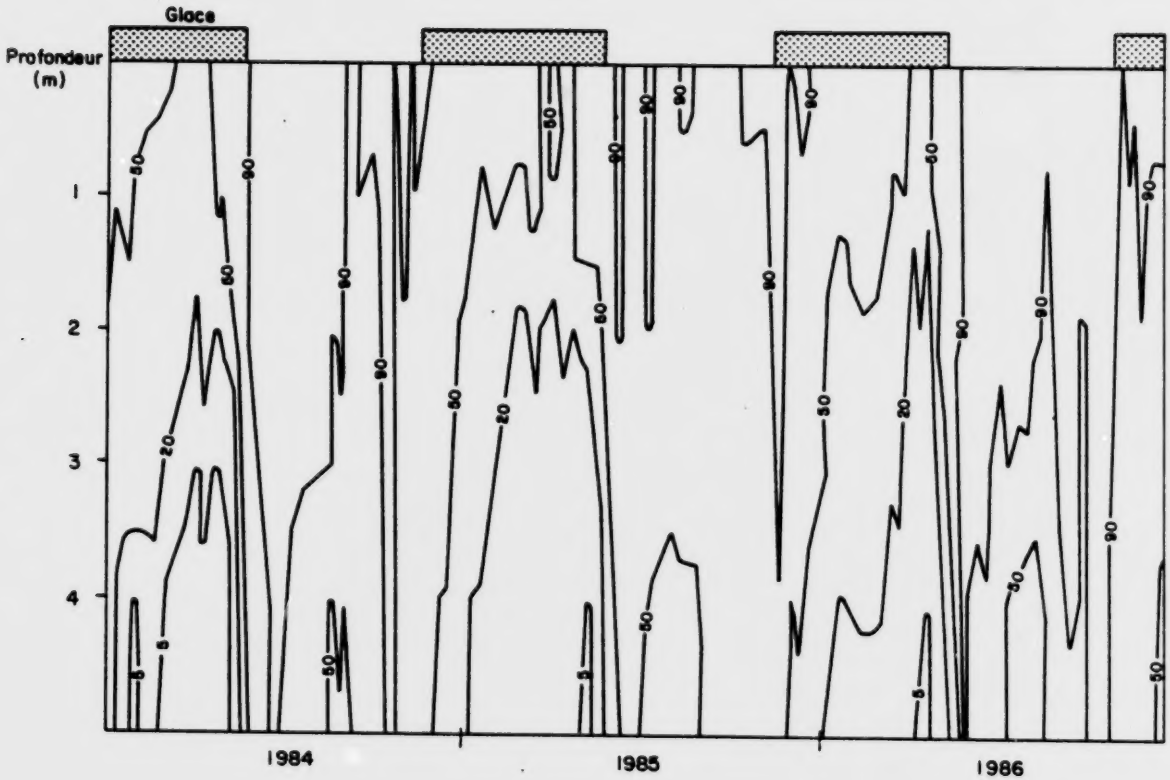

Figure 3: **Saturation en oxygène dissous (%) au centre du lac Laflamme de 1984 à 1986**

mélange des eaux et une bonne oxygénation. Au printemps, ce brassage est important pour la neutralisation des apports acides de la fonte par les eaux mieux tamponnées du fond du lac. L'été, le lac se stratifie légèrement avec des différences d'environ 4°C entre la surface et 4 m de profondeur. Les températures maximum de la colonne d'eau étaient de 18°C le 15 août 1985 et de 17°C le 29 juillet 1986. Il n'y semble pas y avoir de zone d'anoxie durant l'été.

Les statistiques descriptives des paramètres de la qualité de l'eau du lac et de l'exutoire en 1985 et 1986 sont données aux tableaux 9 et 10. Les données hebdomadaires sont présentées à l'annexe 1.

En 1985, les moyennes annuelles de la plupart des paramètres de la qualité au lac et à l'exutoire sont légèrement plus fortes que celles des autres années exception faite de l'ion hydrogène, des nitrates, de la couleur et du manganèse. Au lac, le pH moyen est de 6,4 et l'alcalinité moyenne de 5,5 mg/l. Les moyennes annuelles des sulfates et de l'aluminium sont de 4,5 mg/l et 0,11 mg/l.

En 1986, il y a une diminution des moyennes annuelles des concentrations des éléments majeurs (Ca, Mg, Na, H, HCO_3, SO_4, NO_3) par rapport à 1985. Bien que plusieurs de ces paramètres se trouvent ainsi au niveau de leurs moyennes pour l'ensemble de la période d'étude, l'alcalinité (5,1 mg/l) et les concentrations de l'ion hydrogène (pH=6,5) et des nitrates (0,06 mg/l) sont plus faibles que leur moyenne sur six ans. Dans le cas du potassium, des chlorures, du phosphore (au lac), de la couleur et des métaux traces, Al, Mn et Zn (au lac) il n'y a

TABLEAU 9. STATISTIQUES ANNUELLES DES PARAMETRES CHIMIQUES DE L'EAU DU LAC ET DE L'EXUTOIRE EN 1985

LAC

	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO_4 mg/l	P mgP/l	NO3 mgN/l	Alc mg/l	Cond µS/cm	Coul unité	Al mg/l	Mn mg/l	Zn mg/l	Fe mg/l
X	6,4	2,45	0,54	0,94	0,23	0,43	4,49	0,040	0,099	5,50	26,1	20,6	0,110	0,015	0,006	0,145
s	0,2	0,55	0,13	0,24	0,06	0,09	0,40	0,010	0,121	2,18	5,3	7,8	0,062	0,015	0,002	0,071
minimum	5,8	1,4	0,3	0,6	0,1	0,3	3,6	0,023	<0,01	2,79	16	8	0,028	0,005	0,003	0,055
maximum	6,7	3,7	0,8	1,6	0,4	0,7	5,7	0,063	0,41	10,05	36	46	0,297	0,08	0,012	0,44
c.v.%	3	22	23	25	25	20	9	24	122	40	20	38	56	96	34	48
N	51	52	52	52	52	51	50	51	50	50	51	50	52	52	52	52

EXUTOIRE

	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO_4 mg/l	P mgP/l	NO3 mgN/l	Alc mg/l	Cond µS/cm	Coul unité	Al mg/l	Mn mg/l	Zn mg/l	Fe mg/l
X	6,3	2,44	0,52	0,91	0,22	0,38	4,81	0,039	0,092	5,08	25,4	20,0	0,123	0,023	0,005	0,146
s	0,3	0,65	0,15	0,26	0,07	0,07	0,82	0,012	0,113	2,55	6,4	6,9	0,055	0,021	0,002	0,081
minimum	5,3	1,5	0,3	0,5	0,1	0,3	3,7	0,021	<0,01	1,21	17	7	0,046	0,006	0,002	0,059
maximum	6,7	3,8	0,8	1,4	0,4	0,5	9,6	0,065	0,42	10,43	40	39	0,334	0,07	0,011	0,38
c.v.%	5	27	28	29	32	18	17	32	123	50	25	35	45	94	33	56
N	50	52	52	52	52	51	51	50	51	49	51	50	52	52	52	52

TABLEAU 10. STATISTIQUES ANNUELLES DES PARAMETRES CHIMIQUES DE L'EAU DU LAC ET DE L'EXUTOIRE EN 1986

LAC

	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO_4 mg/l	P mgP/l	NO3 mgN/l	Alc mg/l	Cond µS/cm	Coul unité	Al mg/l	Mn mg/l	Zn mg/l	Fe mg/l
X	6,5	2,38	0,53	0,89	0,25	0,42	4,26	0,042	0,059	5,07	23,6	29,1	0,109	0,022	0,006	0,142
s	0,2	0,45	0,09	0,15	0,09	0,06	0,47	0,013	0,065	1,84	4,3	8,5	0,035	0,011	0,002	0,044
minimum	6,1	1,8	0,3	0,6	0,15	0,3	2,3	0,020	<0,01	2,04	18	15	0,064	0,008	0,003	0,062
maximum	6,9	3,2	0,7	1,3	0,50	0,6	5,9	0,072	0,22	8,01	32	48	0,198	0,052	0,013	0,301
c.v.%	3	19	16	17	35	15	11	31	111	36	18	29	32	50	39	31
N	51	52	52	50	50	50	52	52	51	52	51	52	51	52	52	52

EXUTOIRE

	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO_4 mg/l	P mgP/l	NO3 mgN/l	Alc mg/l	Cond µS/cm	Coul unité	Al mg/l	Mn mg/l	Zn mg/l	Fe mg/l
X	6,5	2,19	0,49	0,83	0,22	0,38	4,36	0,038	0,071	4,24	22,2	27,6	0,124	0,023	0,004	0,117
s	0,3	0,47	0,10	0,19	0,08	0,04	0,41	0,014	0,099	2,02	4,9	8,5	0,063	0,015	0,001	0,055
minimum	5,4	1,0	0,2	0,3	0,13	0,3	3,1	0,018	<0,01	0,42	12	12	0,043	0,004	0,003	0,053
maximum	6,9	3,2	0,7	1,2	0,42	0,5	5,2	0,067	0,45	9,30	40	45	0,337	0,061	0,008	0,340
c.v.%	4	22	20	23	35	11	9	38	140	48	22	31	51	64	31	47
N	51	51	52	52	52	50	52	52	52	51	51	52	51	51	51	51

pas eu de diminution par rapport à 1985. Sauf pour les chlorures, leurs concentrations ainsi que celles du fer (au lac) demeurent au-dessus de leurs moyennes de six ans.

Durant les deux ans, à l'exutoire, les concentrations dans l'eau sont plus faibles que celles du lac pour la majorité des paramètres (Ca, Mg, Na, K, Alc, Cl, P, conductivité, couleur, Zn). Les éléments tel que les sulfates, l'ion hydrogène, les nitrates et l'aluminium sont généralement plus élevées à l'exutoire que dans le lac (tableaux 9 et 10).

Malgré les dilutions en 1986, la proportion relative des cations dans l'eau du lac demeure semblable d'année en année soit 57% Ca, 21% Mg, 19% Na, 3% K et moins de 1% H (tableaux 11, 12). Du côté des anions, la proportion des sulfates a pris de l'importance vis à vis des bicarbonates durant les deux années. On note même en 1986 que la composition du ruisseau en terme d'équivalent passe d'un système dominé par les bicarbonates et le calcium à un système dominé par les sulfates et le calcium. Il y a eu des baisses importantes dans les niveaux de nitrates en 1986 passant des proportions de 4% à 2% au lac.

Dans le cas des paramètres déterminés bi-mensuellement, les gammes de variation sont de 2 à 5,5 mg/l pour le carbone organique dissous, de 3,6 à 7,6 mg/l pour la silice et de 0,013 à 0,058 mgN/l pour l'ion ammonium (annexe 2).

TABLEAU 11

COMPOSITION RELATIVE DE L'EAU DU LAC

	1981 µeq/l	%	1982 µeq/l	%	1983 µeq/l	%	1984 µeq/l	%	1985 µeq/l	%	1986 µeq/l	%	moyenne µeq/l
Ca^{++}	119,7	58	130,0	58	120,9	57	120,0	57	122,6	57	119,1	57	122,1
Mg^{++}	40,9	20	44,2	20	44,3	21	43,9	21	44,2	21	43,7	21	43,5
Na^{+}	40,2	19	43,3	19	39,2	18	41,2	19	41,0	19	38,8	19	40,6
K^{+}	4,2	2	5,5	2	7,0	3	5,5	3	5,9	3	6,3	3	5,7
H^{+}	1,79	1	0,64	-	0,55	-	0,47	-	0,47	-	0,35	-	0,7
HCO_3^{-}	91,8	44	135,0	57	107,8	51	110,0	51	109,9	49	101,4	49	109,3
SO_4^{--}	96,6	46	77,7	33	84,2	40	85,7	40	93,4	42	88,6	43	87,7
Cl^{-}	11,3	5	12,5	5	11,9	5	11,3	5	12,1	5	12,0	6	11,9
NO_3^{-}	8,5	4	9,8	4	9,1	4	7,6	4	7,1	3	4,2	2	7,7
Cations	206,8		223,6		212,0		211,1		214,1		208,3		212,6
Anions	208,2		235,0		213,0		214,6		222,5		206,2		216,6
% DIFF	-0,7		-5,0		-0,5		-1,6		-3,9		+1,0		

TABLEAU 12

COMPOSITION RELATIVE DE L'EAU DE L'EXUTOIRE

	1982 µeq/l	%	1983 µeq/l	%	1984 µeq/l	%	1985 µeq/l	%	1986 µeq/l	%	moyenne µeq/l
Ca^{++}	122,7	58	110,5	57	113,2	58	121,7	58	109,6	57	115,5
Mg^{++}	41,2	19	39,5	20	39,9	20	42,7	20	40,2	21	40,7
Na^{+}	41,8	20	36,2	19	38,2	19	39,7	19	35,9	19	38,4
K^{+}	5,2	2	7,2	4	4,2	2	5,5	3	5,6	3	5,5
H^{+}	0,82	-	0,91	-	0,63	-	0,70	-	0,44	-	0,7
HCO_3^{-}	118,3	53	90,2	46	96,5	48	101,6	46	84,8	44	98,3
SO_4^{--}	78,7	36	86,1	44	87,8	44	100,0	46	90,7	47	88,7
Cl^{-}	12,9	6	11,7	6	10,5	5	10,8	5	10,8	6	11,3
NO_3^{-}	9,7	4	8,9	4	6,9	3	6,6	3	5,1	3	7,4
Cations	211,7		194,3		196,1		210,3		191,8		200,8
Anions	219,6		196,9		201,7		219,0		191,4		205,7
% DIFF	-3,6		-1,3		-2,8		-4,0		+0,2		-2,4

Les évolutions hebdomadaires de plusieurs paramètres de qualité de l'eau au lac et à l'exutoire sont tracées aux figures 4 à 8. Pour les paramètres saisonniers, les cycles de variations étaient semblables aux années précédentes bien que des amplitudes assez différentes des autres années ont été notées pour les nitrates et les métaux traces.

Le cycle normal des paramètres de minéralisation (Ca, Mg, Na, alcalinité) et de la conductivité se résume comme suit. Les concentrations sont élevées en hiver et subissent une dilution à la fonte des neiges. Elles demeurent sous la moyenne annuelle durant l'été et remontent progressivement à l'automne. Des apports importants d'eau de pluies ou de fonte hivernale provoquent une dilution de ces paramètres.

Le phosphore et les nitrates suivent un cycle saisonnier semblable aux paramètres de minéralisation. Toutefois, dans le cas des nitrates, il peut y avoir augmentation et non dilution des concentrations lors de la fonte. Ce phénomène est lié aux concentrations importantes de nitrates dans le couvert de neige. L'assimilation biologique des nitrates est également très prononcée et débute avec le réchauffement des températures au printemps. Ceci fait que les concentrations des nitrates sont souvent sous la limite de détection durant l'été.

Le fer, le manganèse, le potassium et la couleur ne semblent pas augmenter beaucoup durant l'automne et atteignent leurs niveaux les plus élevés au printemps. Des lessivages élevés de fer, manganèse et aluminium ont déjà été associés aux crues printannières dans des

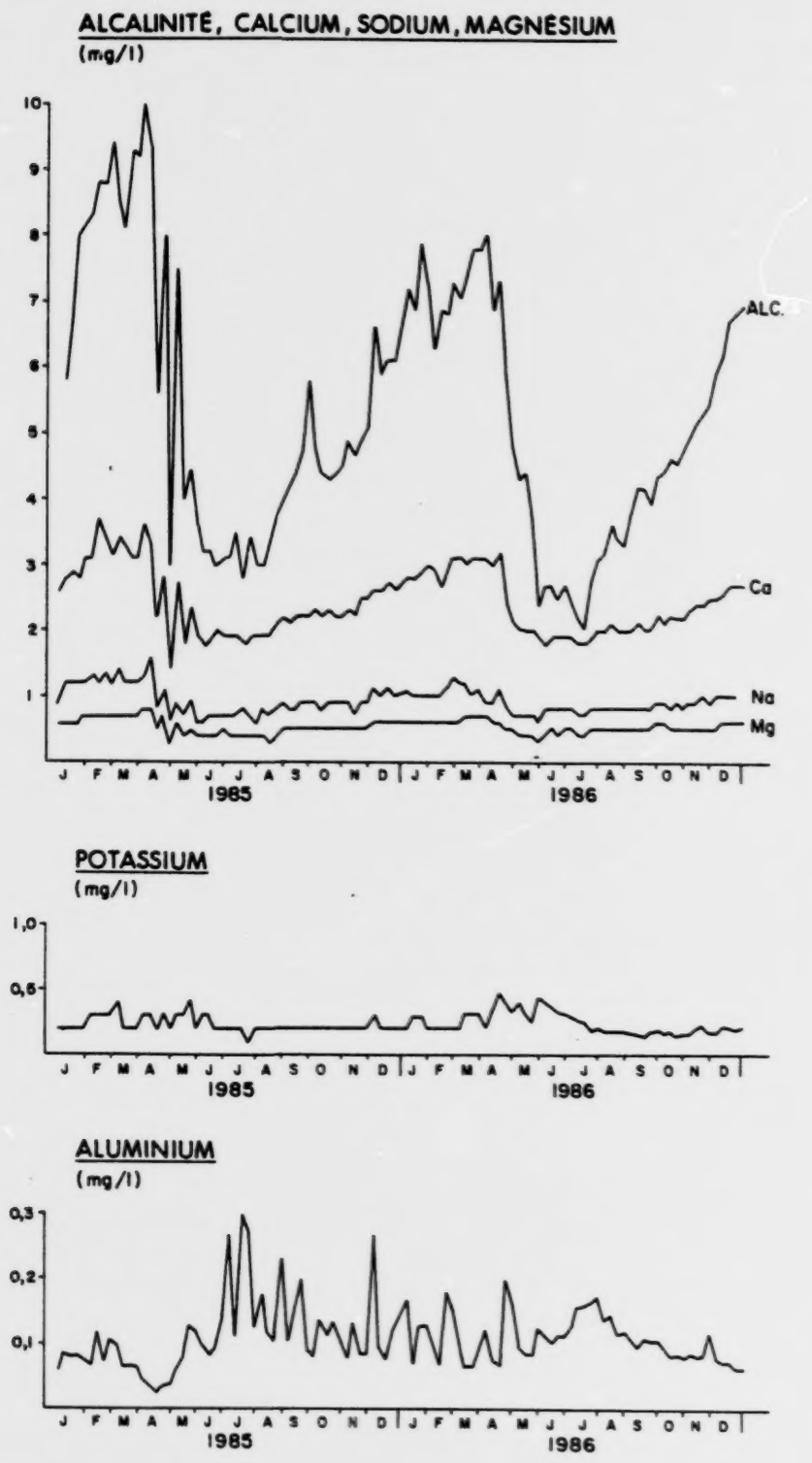

Figure 4: **Evolution temporelle de l'alcalinité, du calcium, du sodium, du magnésium, du potassium et de l'aluminium dans l'eau du lac Laflamme**

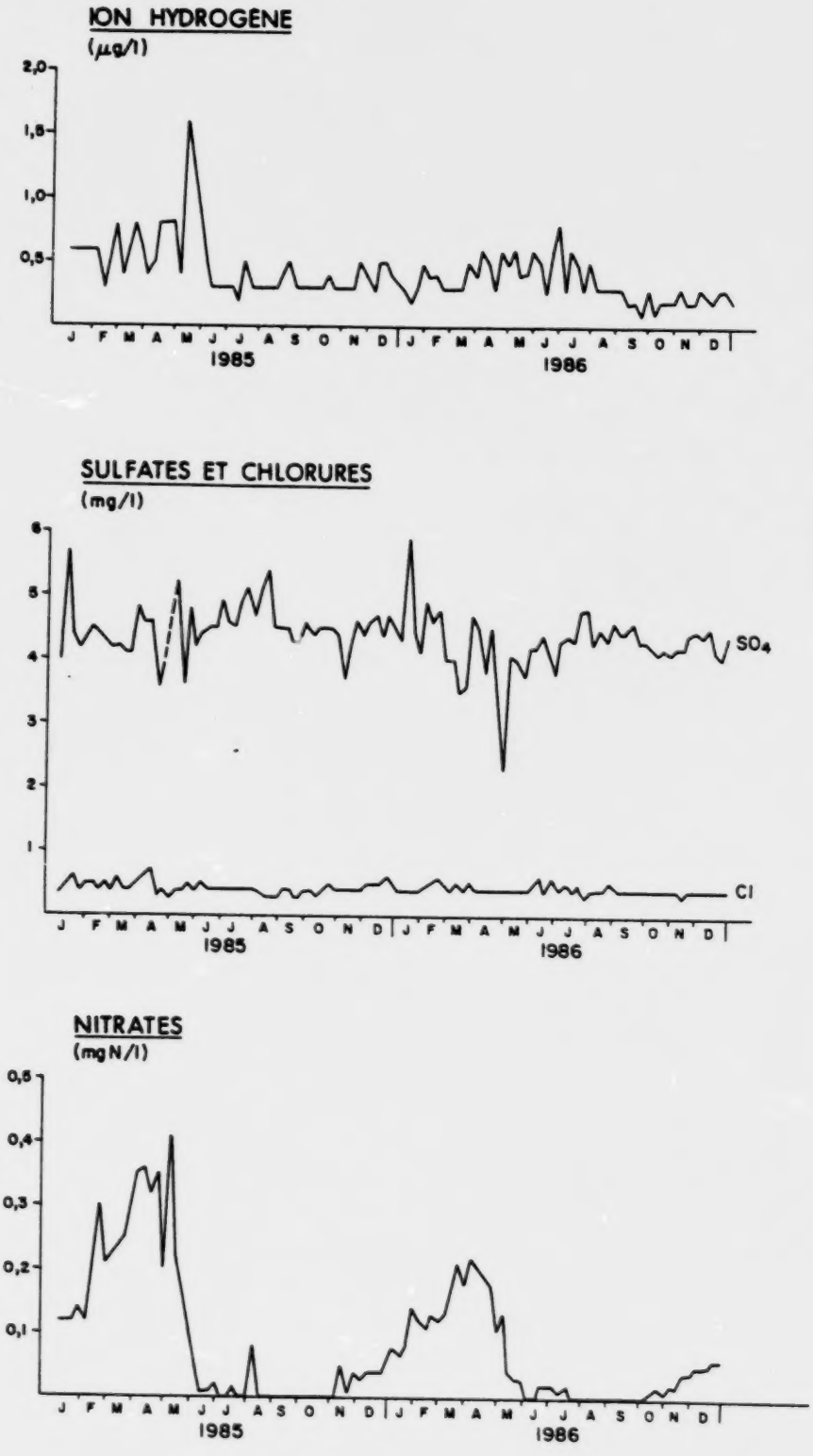

Figure 5: **Evolution temporelle de l'ion hydrogène, des sulfates, des chlorures et des nitrates dans l'eau du lac Laflamme**

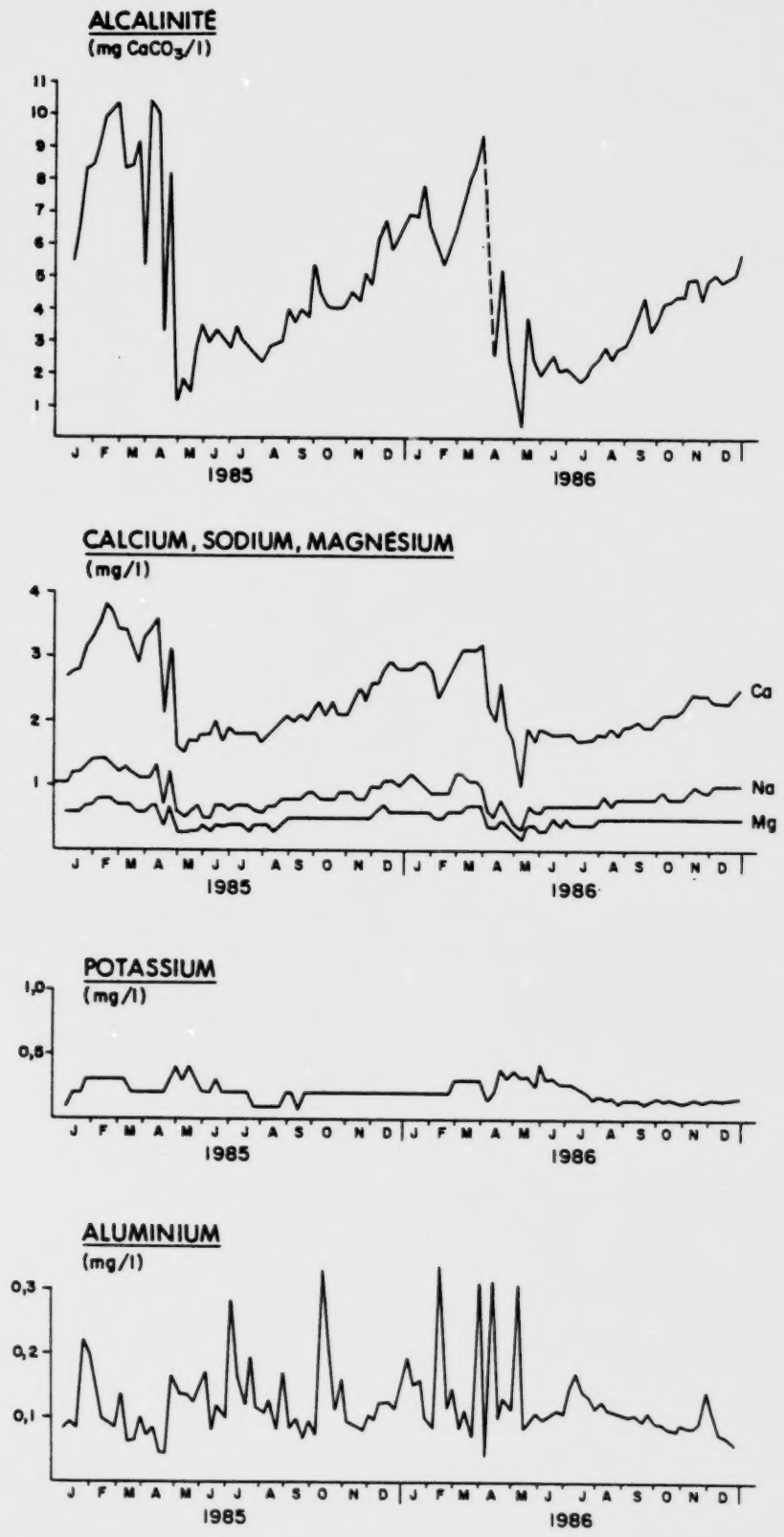

Figure 6: **Evolution temporelle de l'alcalinité, du calcium, du sodium,du magnésium, du potassium et de l'aluminium dans l'eau à l'exutoire du lac Laflamme**

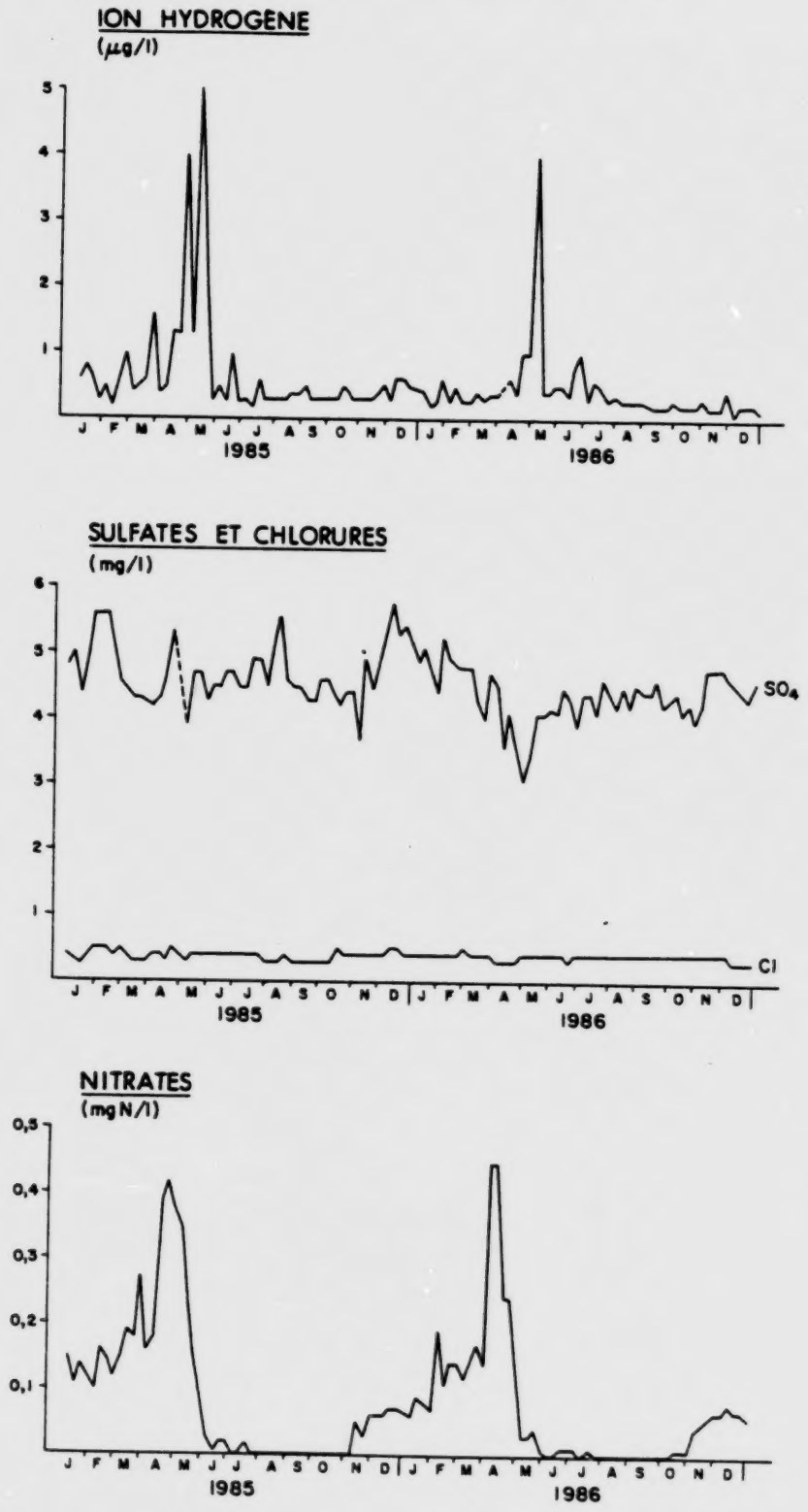

Figure 7: **Evolution temporelle de l'ion hydrogène, des sulfates, des chlorures et des nitrates dans l'eau à l'exutoire du lac Laflamme**

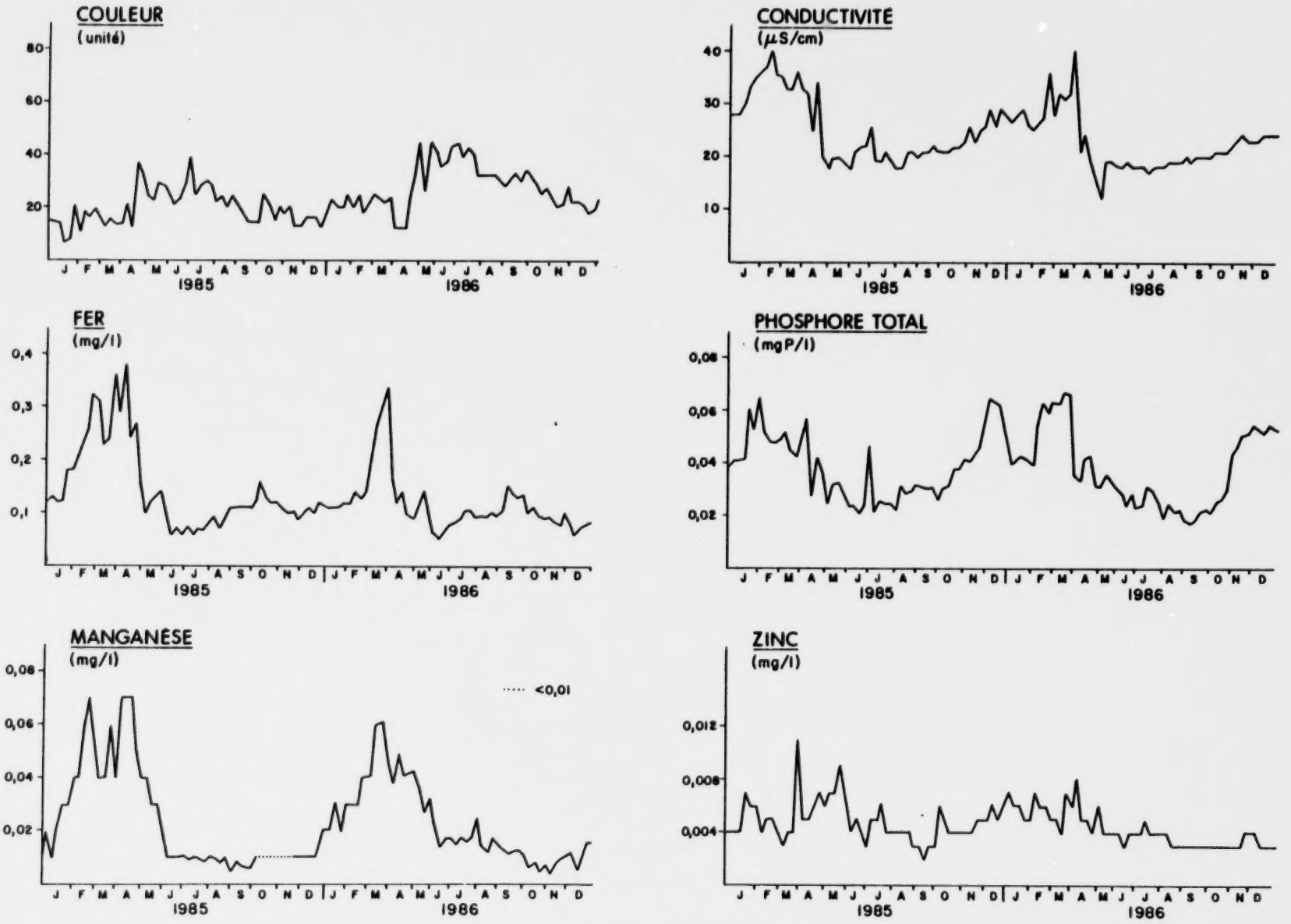

Figure 8: **Evolution temporelle de la couleur, de la conductivité, du fer, du phosphore du manganèse et du zinc dans l'eau à l'exutoire du lac Laflamme**

ruisseaux acidifiés de la Suède (Borg, 1986). Lors de crues printannières, il y a également des augmentations rapides et de courte durée de l'ion hydrogène et ce, surtout au mois de mai. L'amplitude des hausses de l'ion hydrogène semble avoir diminué durant les derniers printemps ce qui pourrait être relié aux diminutions de l'anion acidifiant, NO_3.

Les ions chlorures, les sulfates et l'aluminium sont des paramètres pour lesquels il est difficile de discerner un cycle saisonnier évident. Il faut toutefois mentionner des changements importants dans les niveaux de sulfates et d'aluminium durant l'été 1986 qui semblent indiquer une diminution des charges atmosphériques.

Pour ce qui est des charges exportées, en 1985, elles sont sous la moyenne pour presque tous les paramètres sauf les sulfates (38,2 kg/ha) et l'aluminium (1,1 kg/ha) (tableau 13). Une grande partie des exportations s'effectue au printemps. En avril et mai, 82% des exportations totales de nitrates et 80% de celles de l'ion hydrogène quittent le bassin. La retention nette de ces deux éléments par le bassin semble donc être très faible au printemps. Les mois de mai et juin ont contribué à 40% des exportations totales de cations de base et de phosphore, à 57% des exportations de potassium, à seulement 33% des exportations d'alcalinité et à près de 50% des exportations de sulfates, chlorure et aluminium. Pendant les mois de juillet et octobre il y a également eu des exportations importantes.

Les charges exportées en 1986 sont plus fortes que celles de 1985

TABLEAU 13. EXPORTATIONS MENSUELLES A L'EXUTOIRE EN 1985 (kg/ha)

Mois	H+	Ca++	Mg++	Na+	K+	Alc	SO4--	Cl-	NO3-	Al	Pt
Janvier	0,00012	0,59	0,13	0,24	0,04	1,36	0,99	0,08	0,03	0,03	0,010
%	1,2	4	4	4	2	5	3	3	3	3	4
Février	0,00009	0,61	0,13	0,22	0,05	1,64	0,87	0,08	0,02	0,02	0,009
%	0,8	4	4	4	3	5	2	2	3	2	3
Mars	0,00011	0,52	0,11	0,19	0,04	1,35	0,82	0,06	0,03	0,01	0,008
%	1,1	3	3	3	2	5	2	2	3	1	3
Avril	0,00101	1,18	0,25	0,44	0,15	2,47	2,28	0,20	0,18	0,05	0,019
%	9,8	7	7	7	8	8	6	6	20	4	7
Mai	0,00721	4,68	0,88	1,67	0,88	6,33	12,49	1,07	0,56	0,38	0,085
%	69,7	28	25	27	44	21	33	34	62	34	31
Juin	0,00058	2,13	0,44	0,72	0,25	3,59	5,31	0,46	0,03	0,15	0,029
%	5,6	13	13	12	13	12	14	15	3	14	11
Juillet	0,00036	1,78	0,37	0,66	0,16	2,79	4,69	0,38	0,01	0,16	0,027
%	3,5	11	11	11	8	9	12	12	1	15	10
Août	0,00012	0,67	0,14	0,26	0,04	1,07	1,74	0,11	0,00	0,04	0,010
%	1,2	4	4	4	2	4	5	4	0	4	4
Septembre	0,00010	0,64	0,15	0,25	0,05	1,31	1,34	0,09	0,00	0,03	0,009
%	1,0	4	4	4	3	4	3	3	0	2	3
Octobre	0,00024	1,47	0,34	0,56	0,13	2,79	2,94	0,25	0,00	0,13	0,022
%	2,3	9	10	9	7	9	8	8	0	12	8
Novembre	0,00017	1,19	0,25	0,43	0,10	2,33	2,25	0,20	0,02	0,05	0,021
%	1,7	7	7	7	5	8	6	6	2	4	8
Décembre	0,00023	1,26	0,29	0,48	0,09	2,85	2,48	0,20	0,03	0,05	0,027
%	2,2	8	8	8	5	10	6	6	3	5	10
Total	0,01034	16,72	3,46	6,12	2,00	29,87	38,21	3,19	0,90	1,11	0,276

à l'exception de l'ion hydrogène (0,009 kg/ha) et des nitrates (0,59 kgN/ha) qui sont à leurs minimum (tableau 14). L'inverse est vrai pour les charges de calcium (20,2 kg/ha), de sulfates (43,6 kg/ha), de magnésium (4,5 kg/ha), de sodium (7,3 kg/ha) et d'aluminium (1,4 kg/ha). En avril et mai, les exportations représentaient 70% du total annuel des nitrates et de l'ion hydrogène, 57% du potassium, 48% de l'aluminium et entre 27 et 36% du calcium, du magnésium, du sodium, de l'alcalinité et des sulfates. Les mois de juin et juillet ont également contribué de façon appréciable à l'exportation annuelle de la plupart des paramètres.

Les bilans ioniques ont été calculés par années hydrologiques (tableau 15) et sont exprimés en kg/ha. Il y a toujours une rétention de l'ion hydrogène (+0,6) et des nitrates (+2,4) dans le bassin. L'ion ammonium est également retenu, les apports étant de 2 kgN/ha et les exportations de l'ordre de 0,3 kgN/ha. Le calcium (-15), le magnésium (-3), le sodium (-5), le potassium (-2), les sulfates (-11) et les chlorures (-2) ont un bilan net de perte hors du bassin versant.

3.2 Dynamique du système en 1985.

3.2.1 Hiver 1985.

Deux caractéristiques importantes de l'hiver 1985 sont: une accumulation de neige tardive et très peu de temps doux ou de fonte avant le 12 mars. Ainsi après la tempête du jour de l'An, le mois de janvier est demeuré froid avec peu de précipitations. Les 56,6 mm d'eau qui sont tombés avaient un pH moyen de 4,5 et une charge faible de sulfate de 0,4 kg/ha (tableaux 4,7,8).

TABLEAU 14. EXPORTATIONS MENSUELLES A L'EXUTOIRE EN 1986 (kg/ha)

Mois	H+	Ca++	Mg++	Na+	K+	Alc	SO4--	Cl-	NO3-	Al	Pt
Janvier	0,00015	1,02	0,21	0,37	0,07	2,50	1,76	0,15	0,03	0,05	0,015
%	1,7	5	5	5	3	8	4	4	6	3	4
Février	0,00006	0,42	0,09	0,15	0,04	0,96	0,78	0,07	0,02	0,03	0,008
%	0,7	2	2	2	1	3	2	2	4	2	2
Mars	0,00008	0,63	0,13	0,21	0,06	1,64	0,91	0,08	0,04	0,03	0,013
%	0,9	3	3	3	2	5	2	2	7	2	4
Avril	0,00271	3,23	0,62	0,89	0,63	3,64	6,29	0,66	0,32	0,30	0,067
%	31,2	16	14	12	23	12	14	16	53	21	19
Mai	0,00359	4,00	0,78	1,27	0,85	4,57	9,45	1,01	0,11	0,39	0,082
%	41,4	20	17	17	31	15	22	24	18	27	23
Juin	0,00079	2,13	0,51	0,83	0,34	2,64	4,98	0,44	0,01	0,13	0,031
%	9,2	11	12	11	13	8	11	11	1	9	9
Juillet	0,00055	2,02	0,48	0,82	0,24	2,36	5,09	0,47	0,00	0,17	0,033
%	6,3	10	11	11	9	8	12	11	1	12	9
Août	0,00024	1,45	0,39	0,60	0,12	2,19	3,42	0,31	0,00	0,09	0,017
%	2,8	7	9	8	4	7	8	8	0	6	5
Septembre	0,00015	1,49	0,38	0,62	0,11	2,90	3,38	0,31	0,00	0,08	0,016
%	1,7	7	9	8	4	9	8	7	0	6	5
Octobre	0,00014	1,64	0,39	0,64	0,12	3,32	3,25	0,31	0,01	0,07	0,024
%	1,6	8	9	9	4	11	7	7	1	5	7
Novembre	0,00013	1,36	0,29	0,53	0,09	2,75	2,66	0,23	0,03	0,06	0,029
%	1,5	7	6	7	3	9	6	6	5	4	8
Décembre	0,00008	0,85	0,18	0,36	0,06	1,84	1,61	0,12	0,03	0,03	0,019
%	0,9	4	4	5	2	6	4	3	4	2	5
Total	0,00867	20,23	4,46	7,29	2,74	31,29	43,59	4,15	0,59	1,423	0,356

TABLEAU 15

BILAN IONIQUE DU LAC LAFLAMME (kg/ha)

PARAMETRE	1981-82			1982-83			1983-84			1984-85			MOYENNE
	APP	EXP	BILAN	APP	EXP	BILAN	APP	EXP	BILAN	APP	EXP	BILAN	
H^+	0,43	0,01	+0,42	0,52	0,02	+0,49	0,47	0,01	+0,46	0,67	0,01	+0,66	+0,51
$N\text{-}NO_3^-$	2,73	0,99	+1,74	3,27	1,37	+1,90	3,32	0,98	+2,34	4,39	0,90	+3,49	+2,37
Ca^{++}	1,0	15,6	-14,6	1,0	18,6	-17,6	2,4	16,5	-14,1	1,7	14,8	-13,1	-15,0
Mg^{++}	0,1	3,0	-2,9	0,1	3,6	-3,5	0,3	3,6	-3,3	0,3	3,1	-2,8	-3,1
Na^+	0,9	5,7	-4,8	0,9	6,9	-6,0	---	6,3	---	---	5,6	---	-5,4
K^+	0,2	1,4	-1,2	0,3	3,8	-3,5	0,4	2,0	-1,6	0,4	1,6	-1,2	-1,9
SO_4^{--}	18,2	29,1	-10,9	22,6	38,6	-16,0	23,3	35,8	-12,5	27,0	33,2	-6,2	-11,4
Cl^-	1,5	2,3	-0,8	1,9	4,5	-2,6	---	3,4	---	---	2,8	---	- 1,7
Alc	---	26,6	---	---	34,9	---	---	30,1	---	---	27,0	---	---
NH_4^+	1,4	---	---	1,8	---	---	3,0	---	---	2,4	---	---	---
Lame d'eau (cm)	112	71		156	99		130	86		121	74		

APP : Apports atmosphériques humides
EXP : Exportation par le ruisseau
BILAN: APP - EXP

Des chutes de neige fréquentes ont débuté le 12 février et l'épaisseur de neige au sol avait augmenté jusqu'à 120 cm un mois plus tard (figure 9). Plusieurs chutes de neige importantes durant cette période avaient un pH supérieur à 4,6. La charge atmosphérique reçue entre le premier janvier et le 25 mars n'était pas très élevée et représentait moins de 15% des apports annuels des nitrates et de l'ion hydrogène et moins de 5% des charges de sulfates.

La qualité de la neige au moment de l'accumulation maximum au sol, le 13 mars est donnée au tableau 16. Le pH était de 4,5. Les concentrations de calcium, magnésium, potassium, sulfate et chlorure étaient plus élevées dans le couvert de neige que dans les précipitations alors que les concentrations de l'ion hydrogène, du sodium, des nitrates et de l'ion ammonium étaient semblables dans ces deux composantes. Les concentrations importantes de potassium et manganèse dans la neige étaient probablement dues au lessivage des détritus.

Ces deux paramètres avaient également des valeurs semblables dans le couvert de neige et dans l'eau du lac. Pour les autres paramètres, sauf l'ion hydrogène, les nitrates et l'ion ammonium, les valeurs dans le couvert de neige étaient plus faibles que dans l'eau du lac. Dans les eaux de surface (le lac, l'exutoire et le tributaire principal) la qualité des eaux durant l'hiver est semblable bien que l'eau du tributaire soit légèrement moins minéralisée que l'eau de l'exutoire et cette dernière moins minéralisée que l'eau lacustre.

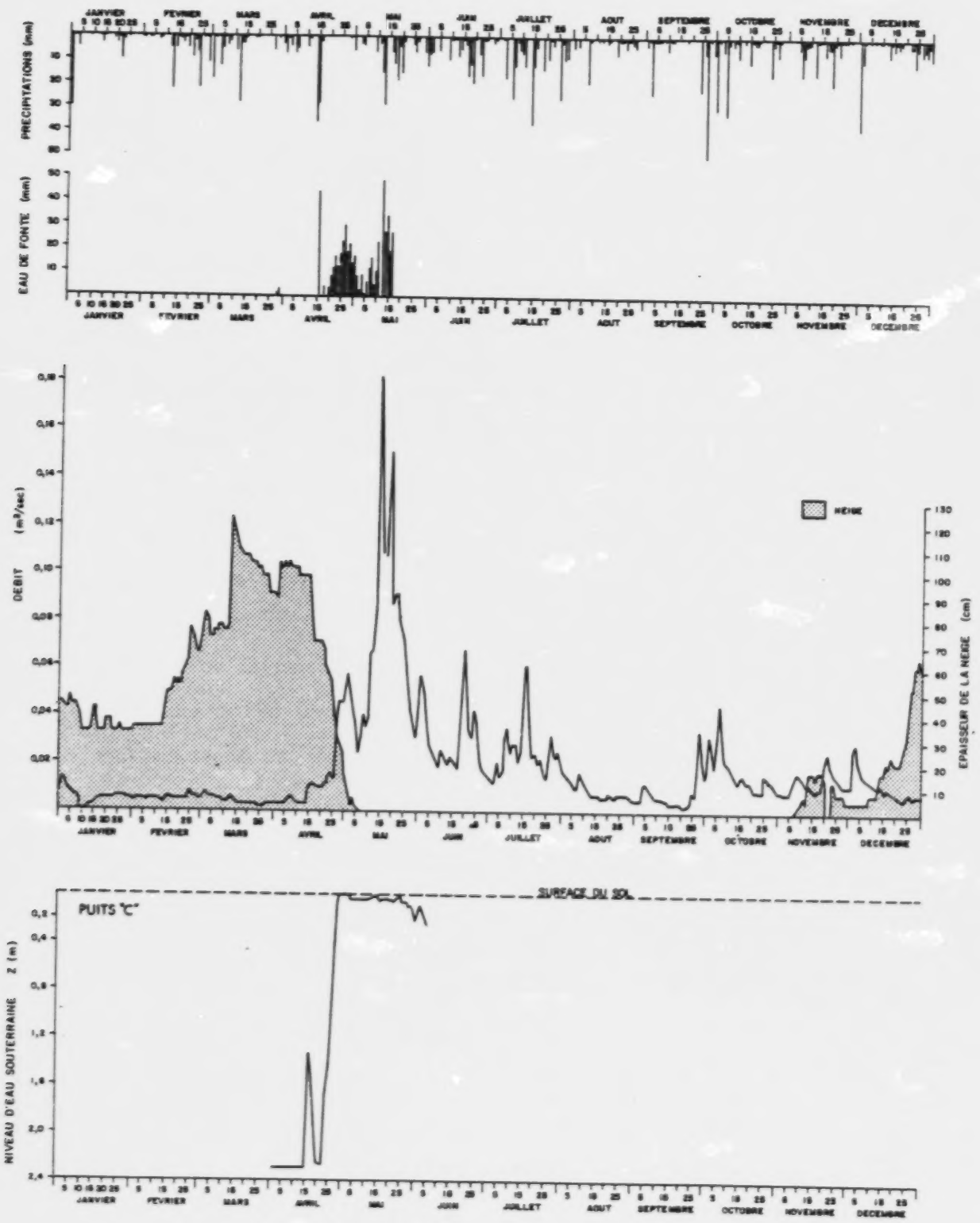

Figure 9: **Précipitations, neige au sol, eau de fonte, eau souterraine et hydrogramme du lac Laflamme en 1985**

TABLEAU 16

QUALITE DES PRECIPITATIONS, DU COUVERT DE NEIGE ET DES EAUX DE SURFACE PENDANT L'HIVER 1985 (1 JANVIER AU 19 MARS)

	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	SO_4 mg/l	Cl mg/l	NO_3 mgN/l	NH_4 mgN/l	Alc mg/l	CD µS/cm	CO	Ptotal mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Zn µg/l
Précipitation[1]	4,4	0,06	0,01	0,07	0,03	0,77	0,12	0,41	0,083	-	-	-	-	-	-	-	-
Neige[2] (13-03-85)	4,5	0,12	0,03	0,07	0,19	0,96	0,25	0,38	0,087	-	16	-	-	0,004	0,003	0,020	-
Tributaire[2] (13-03-85)	6,6	2,40	0,56	1,33	0,23	4,01	0,39	0,31	0,012	7,35	30	10	-	0,072	0,090	0,023	-
Lac	6,2	3,10	0,67	1,2	0,25	4,4	0,5	0,18	-	7,99	33	16	0,047	0,081	0,178	0,017	7
Exutoire	6,3	3,20	0,69	1,3	0,25	4,9	0,4	0,14	-	8,26	34	15	0,050	0,116	0,210	0,038	5
(12-03-85)	6,3	3,20	0,70	1,2	0,20	4,3	0,3	0,19	-	8,42	33	13	0,052	0,062	0,230	0,040	3

1 Réseau CAPMoN
2 Jones et al. (1986)

CD: conductivité
CO: couleur

Tout comme les volumes de précipitations, les niveaux d'eau étaient bas à l'exutoire durant l'hiver 1985 avec un minimum vers le 9 janvier. Ce niveau était le plus faible mesuré en cinq ans. L'écoulement total de janvier à mars était également faible (5,3 cm) et représentait seulement 6% du débit annuel. C'est seulement durant l'hiver 1982 que l'écoulement a été moins élevé (5,0 cm).

Les étiages ont en général un effet prononcé sur la qualité de l'eau. Au lac Laflamme, les paramètres de la minéralisation (Ca, Mg, Na) et la conductivité avaient des concentrations très élevées durant les étiages de 1982 et 1985. Dans le lac, la valeur la plus élevée de calcium en cinq ans (3,6 mg/l) a été mesurée le 12 février 1985. A l'exutoire, des maximums de calcium (3,8 mg/l), de magnésium (0,8 mg/l) et de sodium (1,4 mg/l) ont été atteints durant l'hiver 1985. La conductivité a atteint 36 µS/cm durant les deux étiages. L'alcalinité était également très élevée en 1982 et 1985 mais son maximum au lac (10,05 mg/l) a été atteint durant la fonte intermittente, le 2 avril 1985. Un autre paramètre qui a semblé augmenter durant les étiages de 1982 et 1985 sans toutefois atteindre des maximums était le phosphore.

Les autres paramètres ont un comportement plus complexe et ne semblent pas uniquement affectés par le volume d'eau. Ainsi, les concentrations de potassium étaient plus fortes en 1984 qu'en 1985. Dans le cas des sulfates, les concentrations étaient élevées lors de l'étiage de 1985 mais elles étaient très basses durant l'hiver de 1982.

Durant l'étiage de 1985, les métaux traces ne se comportent pas de la même façon au lac et à l'exutoire. Les concentrations d'aluminium et de manganèse étaient plus faibles que durant les hivers 1981 et 1983 dans les eaux du lac alors qu'à l'exutoire les moyennes hivernales d'aluminium (0,115 mg/l) et de fer (0,222 mg/l) étaient les plus élevés en cinq ans.

Les charges d'éléments exportés pour la période hivernale de 1985 sont intermédiaires entre les années à débit plus fort et charges élevées, 1981 et 1983 et les années à débit et charges plus faibles, 1982 et 1984. Pour la plupart des paramètres, ces mois ne présentent que 15% des exportations annuelles.

3.2.2 Fonte printanière 1985

La fonte printanière dans un bassin versant est une période critique. En plus des importantes arrivées d'eau dans le système lacustre, les eaux de surface subissent une acidification. Il y a deux types d'événement acides qui ont été observés dans les eaux de surface. Les événements associés à une pluie intense et ceux associés à la fonte. Lors de pluies importantes, l'augmentation de l'acidité des apports d'eau est due à l'accroissement du ruissellement et une diminution subséquente de la neutralisation dans les couches de surface du sol.

Dans le cas de la fonte, le phénomène est plutôt lié à la libération préférentielle des polluants et acides accumulés dans la neige durant la phase initiale de la fonte. Il se produit un mélange incomplet de la recharge acide avec l'eau du lac à cause des différences

de densité d'eau qui sont provoquées par la stratification thermique inverse qui se développe sous le couvert de glace. L'épaisseur de la couche d'eau de surface acidifiée est variable et dépend de la quantité de neige accumulée et du taux de fonte.

Il peut y avoir une fonte intermittente produisant peu de débit mais de l'eau très acide ou une fonte massive avec une impulsion initiale d'eau acide lorsque le débit augmente. Durant les débits de pointe et la partie décroissante de l'hydrogramme, l'eau peut être moins minéralisée et moins acide.

En 1985, au lac Laflamme, la fonte intermittente a eu lieu du 26 mars au 13 avril et a été accompagnée d'une accumulation de neige. Des pluies importantes et acides ont suivi du 14 au 16 avril. La fonte principale (17 avril au 17 mai) a duré trente jours et a été entrecoupée par trois périodes de gel: le 19 avril, le 4 mai et le 9 mai 1985. Le débit maximum à l'exutoire a été enregistré le 14 mai 1985. Quatre jours plus tard, le couvert de neige était discontinu à 95% et le 21 mai le lac a perdu son couvert de glace.

La fonte intermittente

Du 27 au 31 mars, la température a grimpé au dessus de 0°C dans le bassin du lac Laflamme (figure 10). Il y a eu deux journées de précipitations avec des faibles volumes (6,7 mm) mais relativement acides (pH<4,0) les 27 et 29 mars qui ont peu changé la qualité du couvert de neige sauf pour une augmentation passagère des sulfates et nitrates et une diminution de l'ion hydrogène (tableau 17).

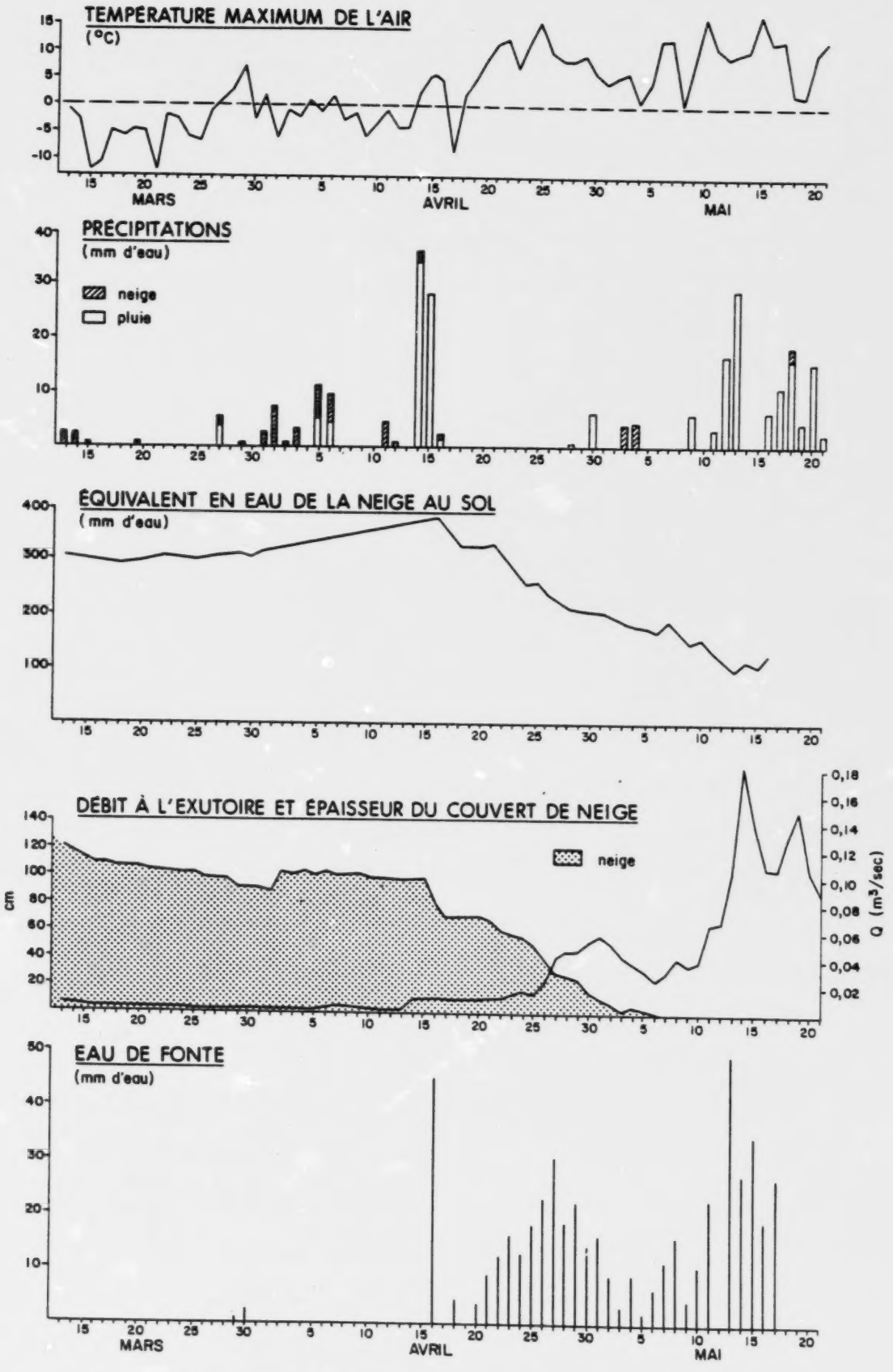

Figure 10: **Paramètres hydrométéorologiques durant la fonte de 1985**

TABLEAU 17

QUALITE ET CHARGE DE LA NEIGE PENDANT LA FONTE INTERMITTENTE DE 1985

	H	pH	Ca	Mg	Na	K	SO_4	Cl	NO_3	CD	Al	Fe	Mn	NH_4
Qualité[1] (mg/l)														
27-03-84	0,03	4,55	0,17	0,04	0,05	0,22	0,96	0,11	0,35	17,7	0,007	0,003	0,020	0,102
29-03-85	0,02	4,67	0,22	0,08	0,12	0,52	1,07	0,26	0,39	17,7	0,029	0,027	0,049	0,597
02-04-85	0,04	4,41	0,12	0,03	0,07	0,14	1,05	0,18	0,41	15,0	0,007	0,005	0,016	0,169
Charge (meq/m^2)														
03-04-85	12,64	-	1,95	0,80	0,99	1,16	7,07	1,65	9,49	-	0,22	-	0,21	-

[1] de Jones et al. (1986)

CD: conductivité (µS/cm)

Les premières eaux de fonte ont été récoltées les 29 et 30 mars (Jones et al., 1986). L'eau était très acide avec un pH de 3,5 et fortement minéralisée avec des concentrations élevées de nitrates (3 mgN/l) et de sulfates (26 mg/l). Le pH du couvert de neige est passé de 4,51 à 4,68 (figure 11).

L'eau de fonte a influencé seulement la couche superficielle du lac où des augmentations des sulfates, des nitrates et de la conductivité ont été notées les 30 et 31 mars (figure 12). Le pH est demeuré autour de 6,3. A l'exutoire, les effets d'une fonte ont été observés dès le 26 mars. Les concentrations de l'ion hydrogène, d'aluminium, de fer, de manganèse, de sulfates et de nitrates avaient augmenté par rapport au début du mois et celles du magnésium, du sodium, du phosphore et surtout de l'alcalinité (diminution de 80 μeq/l) avaient diminué. La fonte a probablement été plus rapide à l'exutoire dû à un plus grand ensoleillement.

Du 1er au 13 avril, les précipitations étaient de faible intensité, acides (pH = 4,1) et sous forme de neige sauf pour les 5 et 6 avril. L'épaisseur de la neige a augmenté jusqu'à 100 cm et les concentrations et les charges de l'ion hydrogène, des nitrates et des sulfates ont également augmenté. Le 3 avril, les charges les plus fortes de l'ion hydrogène dans le couvert de neige ont été mesurées soit 12,6 meq/m^2. Les charges des autres paramètres dont les nitrates (9,5 meq/m^2) et les sulfates (7,1 meq/m^2) sont données au tableau 17.

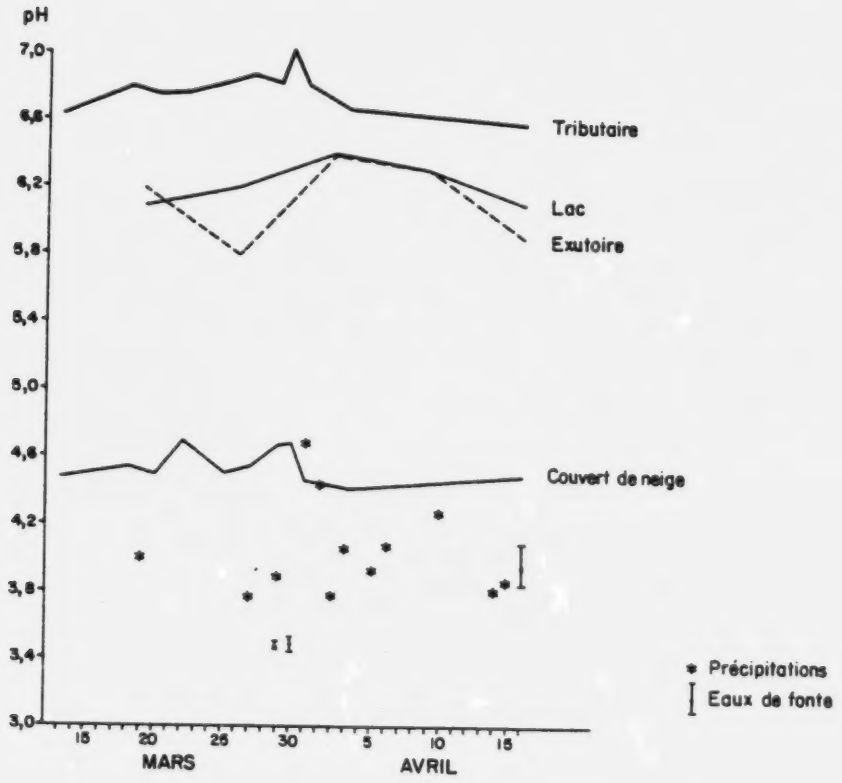

Figure 11: **pH dans les différentes composantes durant la fonte intermittente de 1985**

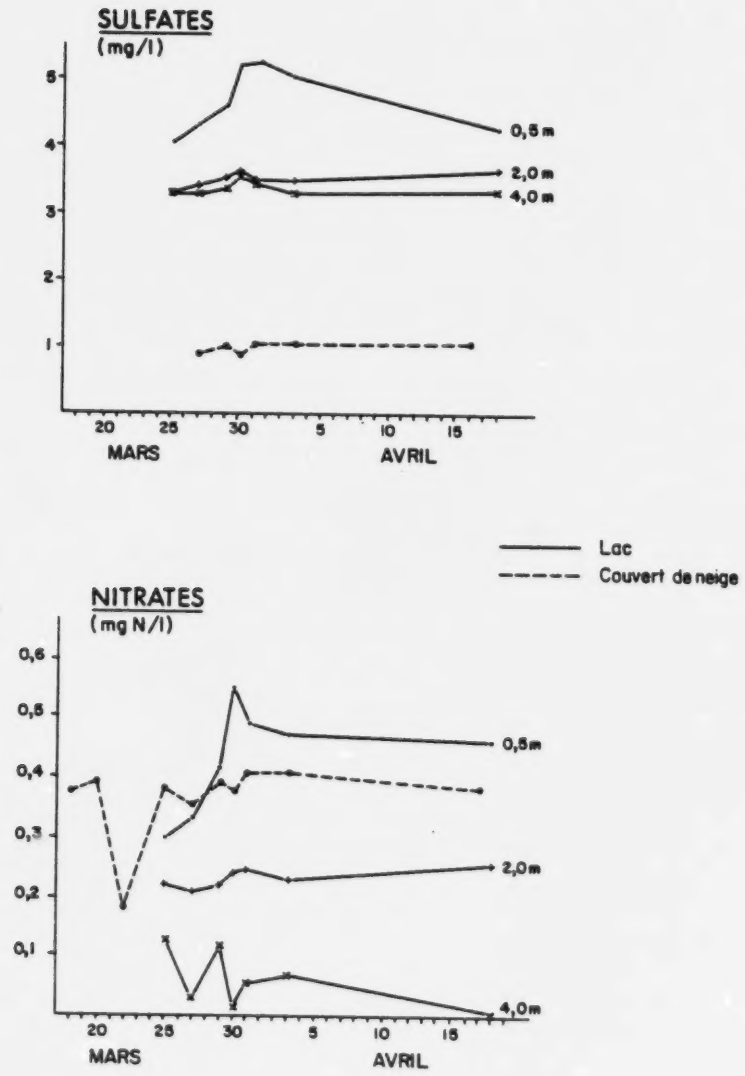

Figure 12: **Evolution des sulfates et des nitrates dans la neige et dans le lac durant la fonte intermittente de 1985**

Durant ces deux semaines, les paramètres de minéralisation avaient encore des valeurs très élevées dans les eaux de surface et le pH était de 6,4 au lac et à l'exutoire. Les maximums annuels pour 1985 dans le lac ont même été atteints pour le magnésium, le sodium, l'alcalinité, le fer et le manganèse. Les sulfates avaient une concentration de 4,6 mg/l et la moyenne des nitrates était de 0,36 mg/l.

Les pluies abondantes du 14 au 16 avril 1985

Pendant trois jours, plus de 66 mm d'eau sont tombés sur le bassin dont seulement 4 mm sous forme de neige (figure 10) et le pH était très acide. Le couvert de neige, le 16 avril, avait un équivalent en eau important (374 mm), un pH de 4,49 et contenait 0,4 mgN/l de nitrates et 1,1 mg/l de sulfates (figures 11, 12). Les charges de ces trois paramètres étaient également élevées soit 12,1 meq/l H^+, 10,3 meq/l NO_3 et 8,4 meq/l SO_4 (Jones et al., 1986).

Aux lysimètres, entre 41 et 48 mm d'eau ont été récoltés le 16 avril (figure 10). Le pH de l'eau de fonte était du même ordre de grandeur que celui de l'eau de pluie. Toutefois, les nitrates (0,54 mgN/l) et les sulfates (5,6 mg/l) avaient des concentrations plus élevées que dans le couvert de neige. Il y a donc eu enrichissement de l'eau en nitrates et en sulfates lors du passage de la pluie dans le couvert de neige.

Avec des quantités si importantes de pluie, il n'était pas surprenant de voir des dilutions importantes dans le lac pour les paramètres présents en faible concentration dans les eaux de

précipitation et dans les eaux de fonte (Ca, Mg, Na, K, Cl, P, Al, Fe). Dans les couches de surface du lac (<1m), l'oxygène dissous avait augmenté de 6,5 à 11,8 mg/l (figure 4) et la température avait diminué. Les diminutions de l'alcalinité étaient de 3,7 mg/l au lac et de 7,7 mg/l à l'exutoire (figures 4 et 6) alors que la couleur avait diminué de 10 unités et les concentrations de sulfates au lac avaient chuté de 1 mg/l. Les concentrations d'aluminium étaient à leur niveau le plus bas en cinq ans au lac (0,28 mg/l) et étaient également faibles à l'exutoire. Toutefois, la concentration de l'ion hydrogène n'avait pas changé.

A l'exutoire, par contre, les effets de la pluie ont été plus prononcés et il y a eu des augmentations de l'ion hydrogène (pH = 5,9), des sulfates et des nitrates. Le débit à l'exutoire est passé de 0,003 à 0,011 m^3/s. Durant cette période, les eaux souterraines près du lac étaient encore bien tamponnées ayant un pH de 6,26.

Fonte massive

Entre le 17 avril et le 17 mai 1985, il y a eu deux phases dans la fonte. Du 17 avril jusqu'au gel près du 9 mai, les apports atmosphériques étaient faibles car il y avait peu de précipitations et leurs pH étaient élevés. La charge humide de sulfates n'était que de 0,5 kg/ha (tableau 18). La période après le 9 mai était caractérisée par des apports atmosphériques acides avec une charge humide de sulfate de 2,6 kg/ha. A ce moment, il ne restait que 0,4 kg/ha de sulfate dans le couvert de neige et l'eau de fonte était considérablement plus diluée que dans les semaines précédentes.

TABLEAU 18

QUALITE DES PRECIPITATIONS, DU COUVERT DE NEIGE ET DE L'EAU DE FONTE DURANT DEUX PERIODES DE LA FONTE DE 1985

Type d'eau	17 avril au 9 mai	10 mai au 17 mai
<u>Précipitations</u>		
pH	4,69	4,14
SO_4 (mg/l)	2,74	4,07
NO_3 (mgN/l)	0,36	0,48
H^+ (kg/ha)	0,004	0,047
SO_4 (kg/ha)	0,51	2,64
<u>Couverture de neige</u>		
pH	4,85	5,12
SO_4 (mg/l)	0,52	0,29
NO_3 (mgN/l)	0,94	0,59
H^+ (kg/ha)	0,035	0,009
SO_4 (kg/ha)	1,29	0,37
<u>Eau de fonte</u>		
pH	4,30	4,53
SO_4 (mg/l)	1,94	1,27
NO_3 (mgN/l)	2,32	1,28
H^+ (kg/ha)	0,11	0,05
SO_4 (kg/ha)	3,78	2,31

La diminution des charges des composantes acides (H^+, SO_4, NO_3) dans le couvert de neige a commencé après les pluies de la mi-avril (figures 13 à 15). Leurs concentrations étaient élevées dans les eaux de fonte surtout le 20 avril et ont diminué graduellement par la suite. Le débit à l'exutoire et la qualité des eaux de surface étaient stables durant quelques jours au début de la fonte massive (17 au 20 avril). Le 23 avril, les concentrations de plusieurs paramètres (alcalinité, Ca, Mg, Na, SO_4, Cl, NO_3, P, conductivité) avaient remonté après les dilutions causées par les pluies jusqu'à des niveaux un peu au dessous des valeurs d'hiver. Les niveaux de potassium, de fer et de couleur étaient même plus élevés que ceux d'hiver. A l'exutoire, les concentrations des anions acidifiants étaient très élevées soit 5,3 mg/l SO_4 et 0,42 mg/l NO_3. Cette valeur de nitrates est le maximum mesuré en 1985.

Le plus fort de la fonte a eu lieu du 25 avril au 3 mai 1985 et c'était à ce moment que les effets étaient les plus prononcés sur les eaux de surface. Entre le 20 et 30 avril, le couvert de neige a baissé de 71 à 25 cm et le débit à l'exutoire a augmenté rapidement de 0,10 à 0,46 m^3/s. Au tributaire, Campbell et al. (1986) ont noté une chute du pH de 6,5 à environ 5,1 entre le 24 et le 26 avril. Les concentrations de carbone organique et d'aluminium filtré avaient augmenté considérablement passant de 2 à 4 mg/l et de 100 à 200 µg/l respectivement (figure 16). Les proportions relatives des différentes formes d'aluminium avaient également changé.

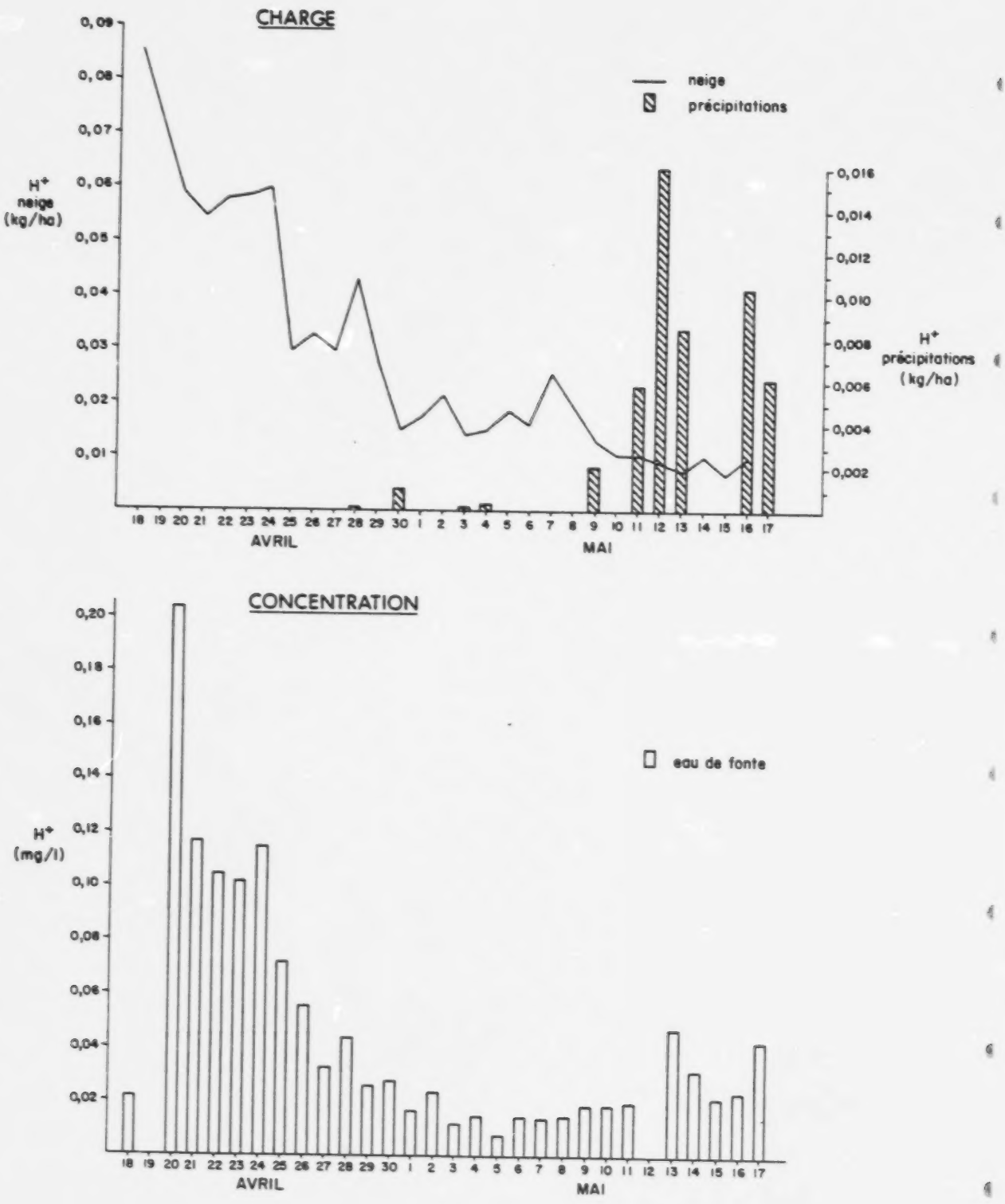

Figure 13: **Les charges de l'ion hydrogène dans le couvert de neige et les précipitations et les concentrations dans l'eau de fonte durant la fonte massive de 1985**

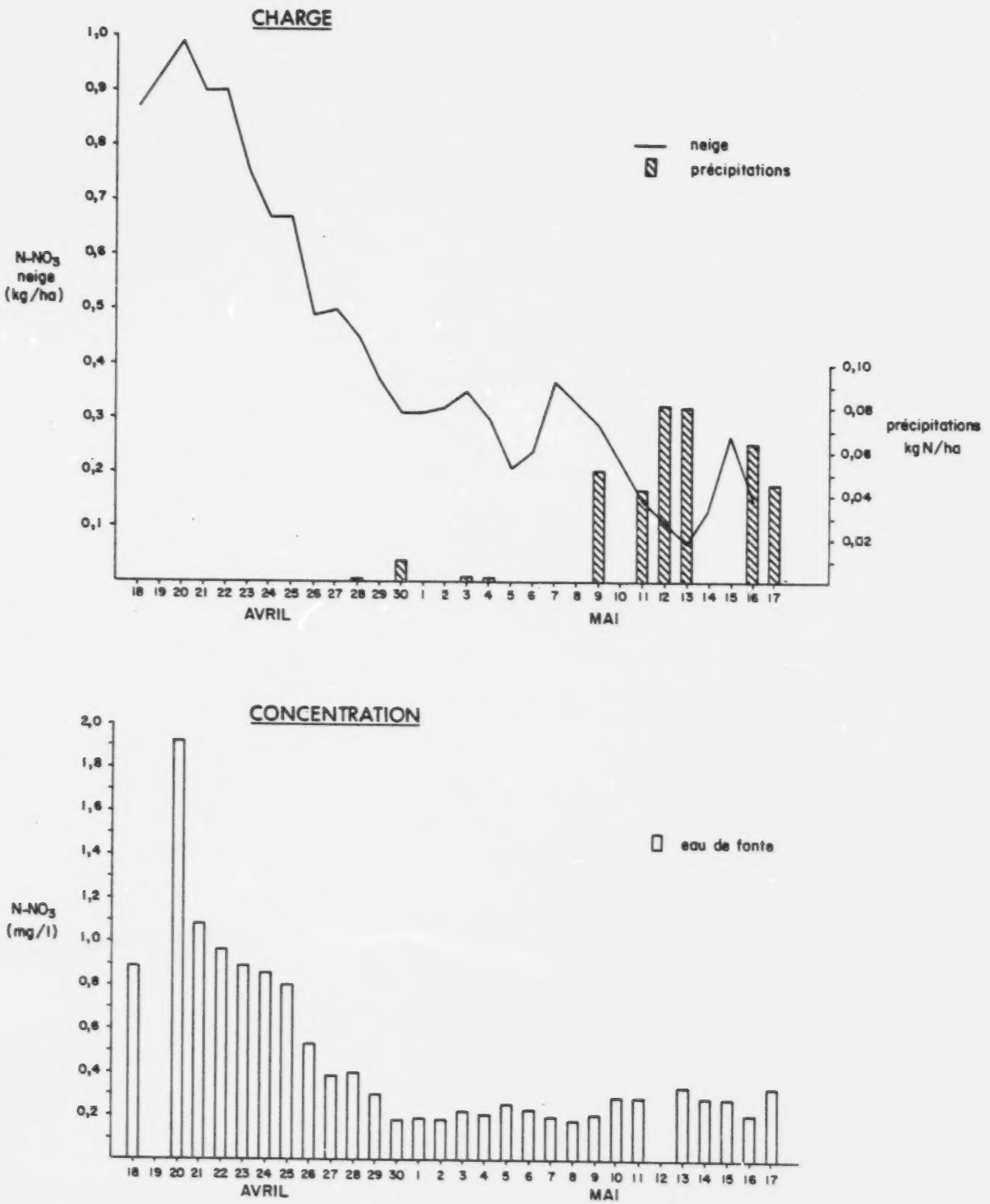

Figure 14: **Les charges des nitrates dans le couvert de neige et les précipitations et les concentrations dans l'eau de fonte durant la fonte massive de 1985**

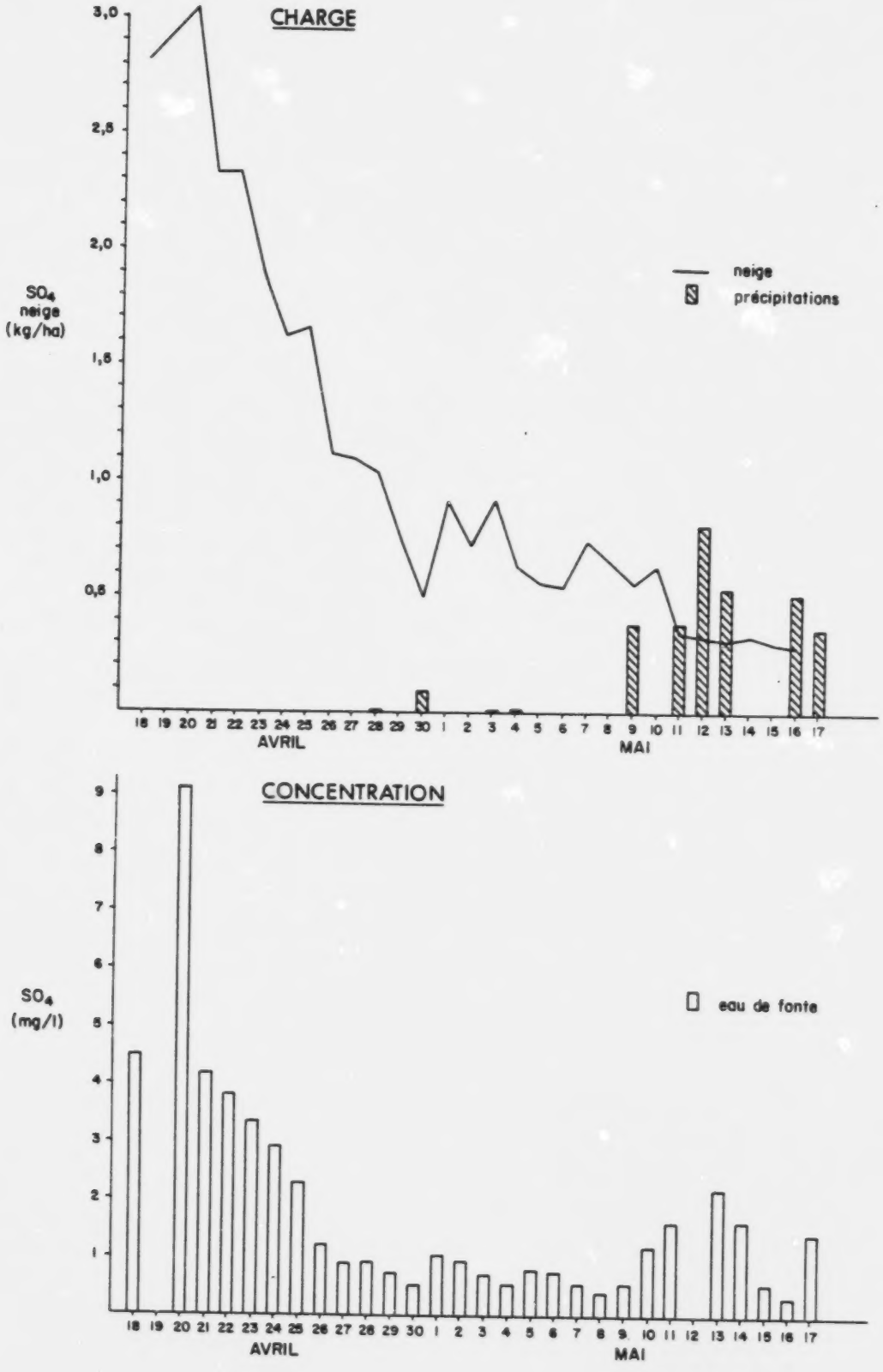

Figure 15: **Les charges de sulfates dans le couvert de neige et les précipitations et les concentrations dans l'eau de fonte durant la fonte massive de 1985**

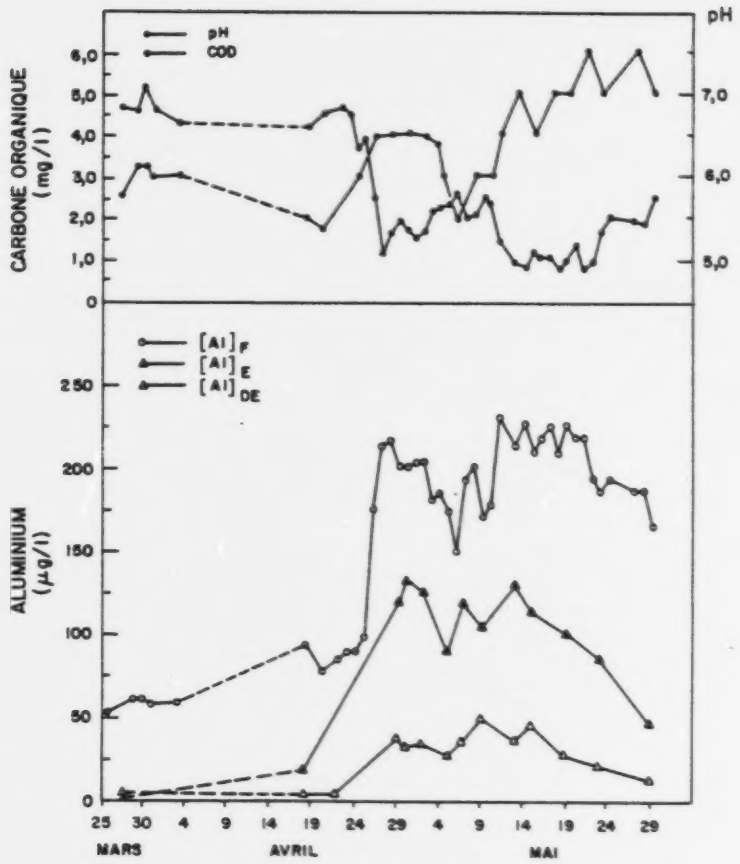

Figure 16: **Evolution du pH, du carbone organique dissous (COD), l'aluminium filtrable $[Al]_F$, l'aluminium extractible $[Al]_E$ et l'aluminium dialysable extractible $[Al]_{DE}$ dans le tributaire** (tiré de Campbell et al, 1986)

La surface du lac a été encore une fois beaucoup plus affectée que l'eau en profondeur. La conductivité dans les couches de surface (0,5m) était demeurée sous 10 µS/cm du 23 avril au 21 mai alors qu'à 4 m la conductivité était au dessus de 24 µS/cm. Le pH dans le premier 50 cm était sous 5,6 du 30 avril au 4 mai 1985 par contre, il était de 6,5 à 4 m de profondeur.

Dans le lac, les dilutions maximales des paramètres de minéralisation durant la fonte de 1985 ont été mesurées dans la semaine du 30 avril (figure 4). La couleur et les nitrates avaient également des valeurs moins élevées que la semaine précédente. L'aluminium était le seul paramètre à avoir augmenté légèrement. A l'exutoire par contre l'ion hydrogène, le potassium, l'aluminium (0,165 mg/l) et le zinc avaient augmenté (figures 6 à 8). Le pH était descendu à 5,4 et l'alcalinité n'était que de 1,2 mg/l. Des niveaux aussi bas que 0,2 mg/l d'alcalinité avaient été mesurés les printemps précédents.

Après le 1er mai, le temps s'était refroidi, le débit avait diminué et il y a eu quelques événements de neige. Au lac, les concentrations de sulfates (5,2 mg/l) et de nitrates (0,41 mg/l) étaient les plus élevées de la période de fonte. Les concentrations des autres paramètres dans le lac avaient également augmenté quelque peu avant la troisième et dernière dilution autour du 14 mai suite aux pluies du 12 et 13 mai et au temps doux. Cette deuxième pointe de fonte a duré une semaine (10 et 17 mai). La charge des substances acidifiantes dans les précipitations était supérieure à celle dans le couvert de neige (tableau 18). Cela a probablement contribué à la légère hausse des

sulfates dans les eaux de fonte par rapport à la semaine précédente (figure 15). Le débit maximum de 1985 (0,098 m^3/s) a été atteint le 14 mai.

La dilution des paramètres dans les eaux de surface était moins importante que durant la première phase de la fonte massive. Toutefois les concentrations de l'ion hydrogène au tributaire, au lac et à l'exutoire étaient plus élevées qu'au 30 avril. Le pH était inférieur à 5,0 au tributaire, de 5,8 au lac et de 5,3 à l'exutoire le 14 mai.

Alors que dans l'ensemble, la fonte a apporté des dilutions semblables aux autres années pour beaucoup de paramètres, les baisses de pH et d'alcalinité semblaient moins prononcées que les années auparavant. Il y a eu des concentrations élevées de sulfate, de nitrate et de fer durant quelques périodes de la fonte. L'aluminium a eu un comportement singulier au lac. Alors qu'à l'exutoire les concentrations ont augmenté durant la fonte massive, dans le milieu lacustre les concentrations sont demeurées très basses durant la fonte et il y a eu des augmentations importantes lorsque le couvert de glace a disparu.

Les niveaux à l'exutoire sont demeurés hauts jusqu'au 22 mai. La disparition du couvert de glace a eu lieu tard, le 21 mai 1985. Le débit évacué à l'exutoire durant les mois d'avril et de mai était de 327 mm soit moins qu'en 1981 (367 mm), 1983 (435 mm) et 1984 (363 mm).

3.2.3 Eté 1985

Durant l'été 1985, dans les eaux du lac, le pH (6,5) et les concentrations de calcium (1,9 mg/l) étaient semblables aux autres étés alors que l'alcalinité (3,3 mg/l), le magnésium (0,4 mg/l) et le sodium (0,7 mg/l) étaient un peu sous la moyenne estivale. La conductivité moyenne (22 µS/cm) était un peu forte et les concentrations de sulfates (4,7 mg/l) et d'aluminium (0,162 mg/l) étaient très fortes pour cette saison.

L'été peut en fait être divisé en deux périodes, une première assez pluvieuse de deux mois et une deuxième de temps un peu sec. Plus de 353 mm de pluie sont tombés en juin et juillet 1985 comparativement à 168 mm en août et septembre. Par comparaison, le volume moyen des précipitations pour deux mois au lac Laflamme est de 220 mm.

Les précipitations de juin et juillet avaient des concentrations beaucoup plus importantes de l'ion hydrogène, des sulfates, des nitrates et de l'ion ammoniaque que celles des deux mois suivants (tableau 19). Les pH moyens étaient de 4,4 et 4,72 respectivement et les apports atmosphériques de sulfates étaient de 6,0 kg/ha et 1,9 kg/ha pour ces deux périodes.

Malgré la différence dans les apports atmosphériques, la qualité de l'eau a varié relativement peu. Ceci peut être relié à l'effet de réservoir du milieu lacustre (temps de renouvellement de deux mois) ou du milieu terrestre qui modère ou retarde les modifications de la qualité des eaux. Les concentrations de calcium, magnésium, sodium,

TABLEAU 19

QUALITE DES PRECIPITATIONS ET DES EAUX DE SURFACE DURANT L'ETE ET L'AUTOMNE 1985

PRECIPITATION

	pH	SO_4 mg/l	Cl mg/l	NO_3 mg/l	NH_4 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l
Juin-Juil	4,40	2,1	0,08	0,26	0,24	0,12	0,12	0,02	0,02
Aout-Sept	4,72	0,8	0.04	0,09	0,07	0,02	<0,01	0,02	0,01
Oct-Dec	4,43	1,4	0,13	0,26	0,12	0,03	0,01	0,02	0,01

EAUX DE SURFACE

	pH	SO_4 mg/l	Cl mg/l	NO_3 mg/l	CD µS/cm	CO	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Alc mg/l	P µg/l	Al µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Zn µg/l
Juin-Juil																
Lac	6,5	4,6	0,4	0,02	22	28	1,9	0,41	0,7	0,21	3,20	29	160	83	13	6
Exutoire	6,5	4,6	0,4	0,02	21	27	1,8	0,38	0,6	0,19	2,99	27	152	77	13	5
Aout-Sept																
Lac	6,5	4,7	0,3	0,01	22	20	2,1	0,45	0,8	0,20	4,16	34	144	101	8	4
Exutoire	6,5	4,7	0,3	0,00	20	20	2,0	0,45	0,8	0,15	3,67	30	107	100	8	3
Oct-Dec																
Lac	6,5	4,5	0,4	0,02	18	24	2,4	0,53	0,9	0,21	5,17	43	113	124	4	6
Exutoire	6,5	4,7	0,4	0,03	17	24	2,4	0,54	0,9	0,20	4,97	45	130	114	5	4

CD: conductivité
CO: couleur

sulfates, potassium et fer étaient légèrement plus élevées lorsque le débit était plus bas mais ces hausses étaient superposées aux augmentations normales du cycle annuel de la plupart de ces paramètres. En août et septembre, il y a eu une diminution des paramètres associées au ruissellement: la couleur, le potassium, l'aluminium, le manganèse et le zinc. Le pH est demeuré à 6,5 dans le lac et à l'exutoire.

A l'échelle épisodique, un des événements les plus acides de l'année a eu lieu au mois de juillet. Les 14 et 15 juillet 1985 près de 48 mm de pluie avec un pH de 4,3 sont tombés sur le bassin. Des diminutions de l'alcalinité (26 µeq/l), du calcium (5 µeq/l) et du pH (0,4 unité) ont suivi cette pluie. Il y a eu augmentation de la couleur, des sulfates (8 µeq/l), des nitrates (1,4 µeq/l) et d'aluminium dans le lac où ce dernier est passé de près de 0,11 à 0,30 mg/l. Cet événement peut être comparé à une pluie également forte le 27 septembre (50 mm) mais ayant un pH de 6,4 et ayant séjournée au dessus du Maine et de l'Atlantique. Dans le cas de cette pluie non acide il semble y avoir eu peu d'effet ou des effets à très court terme car il n'ont pas été détectés par l'échantillonnage quelques jours plus tard.

3.2.4 Automne 1985

D'octobre à décembre, il y a eu 313 mm de précipitations, ce qui est près de la normale, dont 117 mm (37%) sous forme de neige. Le lac a gelé vers le 10 novembre et la neige a commencé à s'accumuler au sol vers la même date. A la fin décembre, il y avait 60 cm au sol (figure 9). Le débit à l'exutoire est remonté un peu après l'étiage d'été pour ensuite descendre vers 0,008 m^3/s. Le pH moyen des précipitations

durant cette période était de 4,43. Les concentrations des autres paramètres chimiques dans les précipitations étaient généralement un peu plus basses que la moyenne annuelle de 1985. L'importance relative des apports atmosphériques de chlorures et des nitrates par rapport au total annuel s'est accrue au mois de décembre.

Au lac et à l'exutoire, il y avait des augmentations graduelles de calcium, magnésium, sodium, alcalinité, nitrates et phosphore liés à leurs cycles annuels. Les concentrations de sulfates (4,4 mg/l) et d'aluminium (0,119 mg/l) étaient élevées pour la saison automnale alors que l'alcalinité (5,0 mg/l) a augmenté moins que la normale.

En résumé pour l'année 1985, durant l'hiver il y a eu un étiage assez prononcé avec peu de fonte ce qui a provoqué des concentrations des paramètres de minéralisation très élevées et des diminutions des concentrations des paramètres reliés au ruissellement et aux sédiments en suspension. L'inverse s'est produit durant l'été quand les fortes pluies de juin et juillet ont diminué les concentrations des paramètres de minéralisation par rapport aux autres étés alors que la couleur, les concentrations de potassium et des métaux traces étaient élevées. Le printemps était relativement normal avec trois dilutions importantes dont une reliée à des pluies fortes à la mi-avril. L'automne ressemblait également aux autres années. Durant l'année les charges atmosphériques étaient aussi sinon plus fortes que les années précédentes. Dans les eaux de surface, les concentrations de sulfates et de certains métaux traces restèrent élevées durant toute l'année.

3.3 Dynamique du système en 1986.

3.3.1 Hiver 1986.

L'hiver 1986 a été un hiver avec fonte comme ceux de 1981 et 1983 (figure 17). De janvier à mars, les précipitations ont été de 8% plus abondantes que la moyenne alors que le débit (73,2 mm) a été de 10% inférieur à la moyenne mais tout en étant plus fort qu'en 1984 ou 1985 (figure 18). La quantité de neige (266 mm) était de 26% plus forte que la moyenne.

Les données sur la qualité des précipitations en 1986 se limitent au pH et sont tirées du bulletin des pH du service de l'environnement atmosphérique. Ainsi, les pH mensuels des précipitations pour l'hiver étaient au-dessus de 4,5 ce qui est nettement moins acide qu'en 1985.

Au début janvier, une bonne couche de neige recouvrait le sol et les précipitations ont été abondantes (171 mm) jusqu'à la fin du mois. Il y a eu de la pluie les 19 et 20 janvier (pH<4,0) ainsi que les 26 et 27 janvier. Après ces événements de pluie, le débit avait augmenté à l'exutoire surtout le 28 janvier (0,037 m^3/s). Le débit minimum annuel en 1986 (0,003 m^3/s) a été mesuré deux semaines auparavant, le 16 janvier. Le mois de février a été très sec avec une température moyenne maximum de -8,7°C et une température moyenne minimum de -19,8°C. Les 20,1 mm d'eau, tombés sous forme de neige, représentaient la lame d'eau la plus faible mesurée pour un mois durant les six dernières années.

L'accumulation de neige a recommencé au début mars. Les 10 et 19

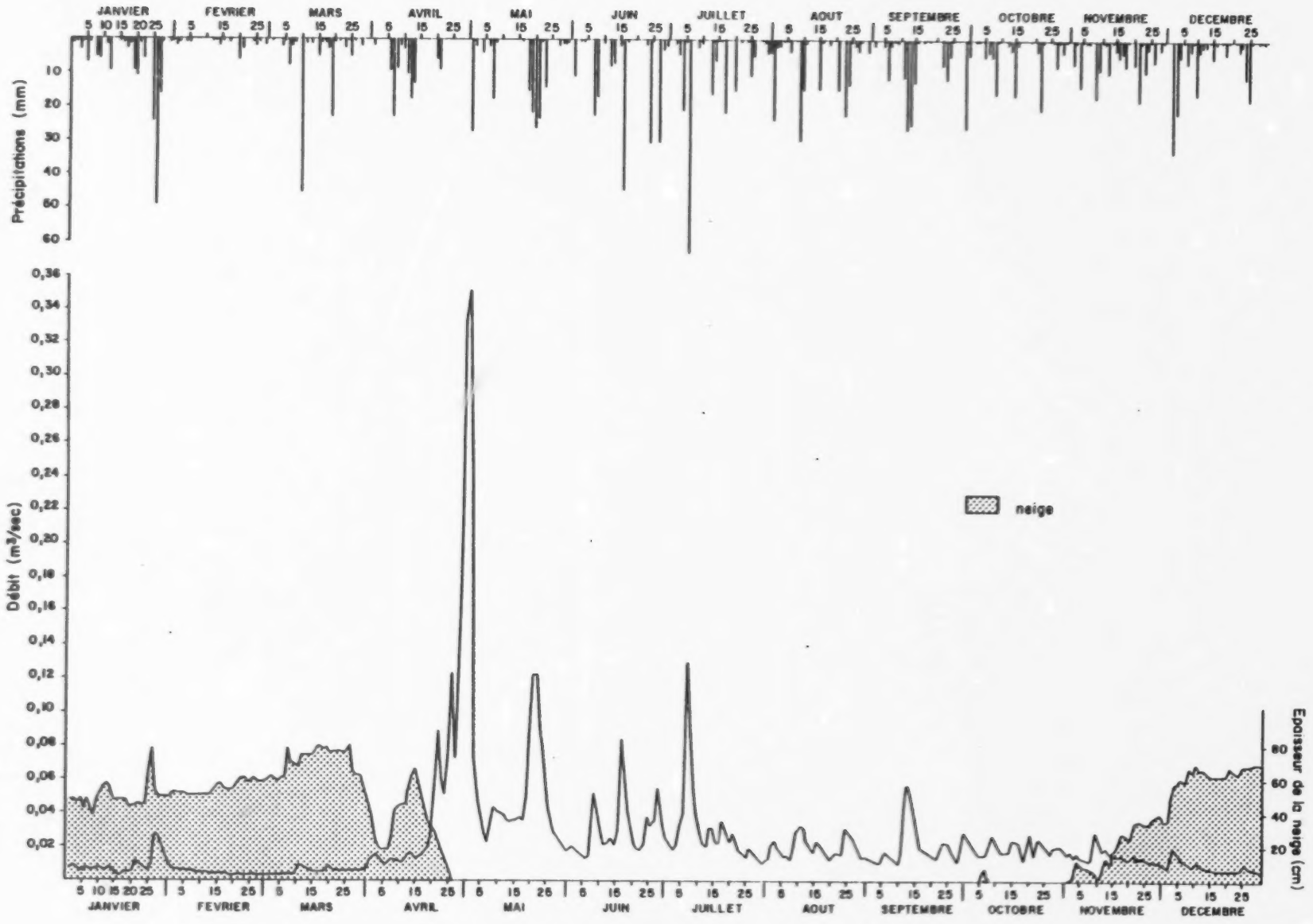

Figure 17: **Précipitations journalières, débits à l'exutoire et accumulation de neige en 1986**

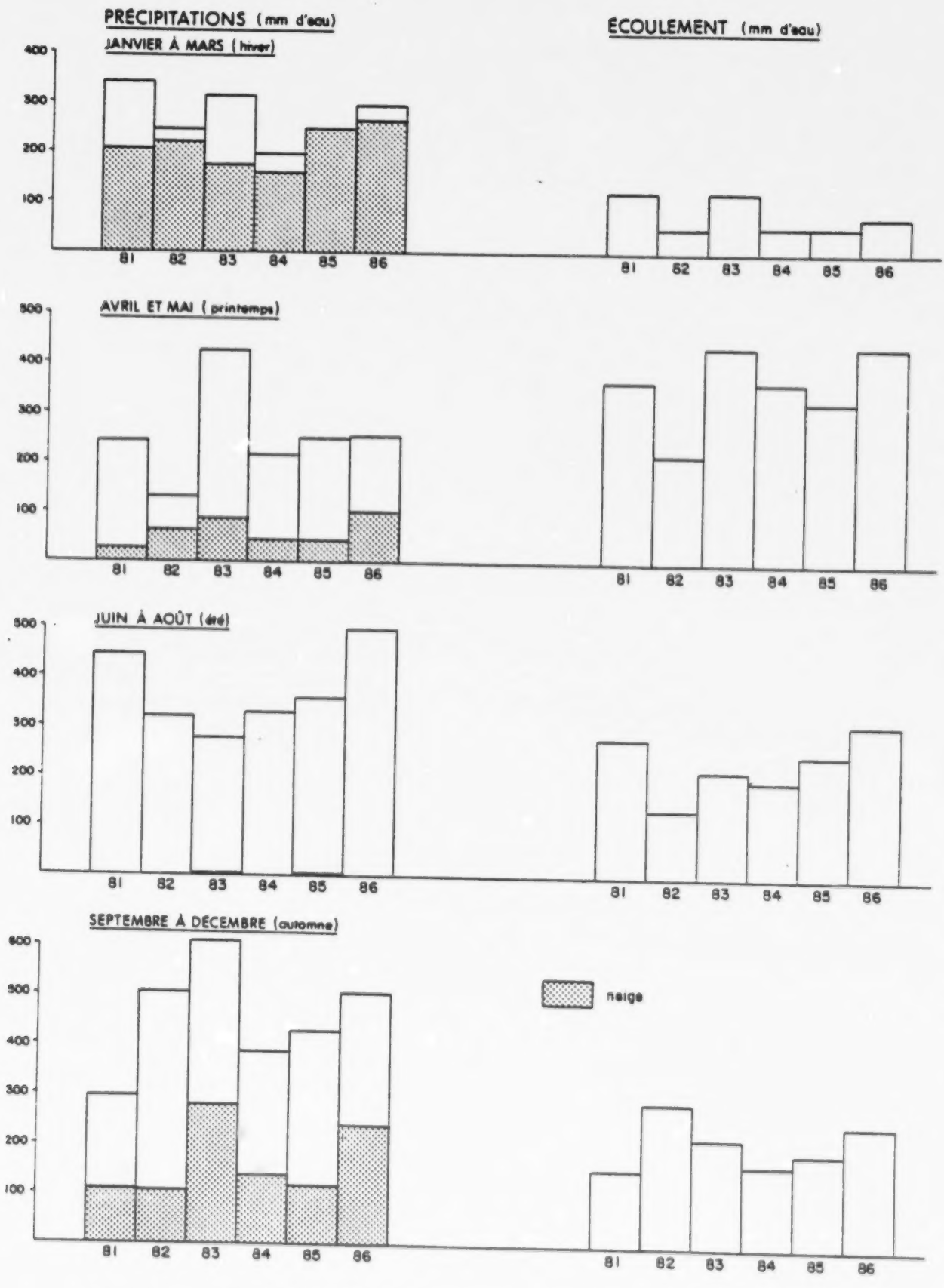

Figure 18: **Précipitations et écoulement par saison pour le lac Laflamme**

mars, les températures se sont réchauffées assez pour que du grésil ou de la pluie se soit mêlé à la neige.

Alors que la qualité de l'eau est relativement stable durant les hivers sans fonte, les pluies et le temps doux en 1986 ont provoqué de la variabilité temporelle dans les concentrations de paramètres chimiques. De plus, les augmentations et diminutions de divers paramètres, ne sont pas toutes synchrones indiquant peut-être l'influence des réservoirs du bassin (neige, glace, sol, eau souterraine). Ainsi dans le lac, après les pluies de janvier, des diminutions de l'alcalinité et du pH et une augmentation des nitrates ont été notées à la fin du mois. Une dilution du calcium et une augmentation des sulfates et des chlorures a eu lieu un semaine après.

A l'exutoire, les pluies de janvier ont également eu des effets: des diminutions du pH, de l'alcalinité, du sodium et une augmentation de la couleur le 30 janvier ainsi que des diminutions de calcium, du magnésium et de la conductivité et des augmentations des sulfates et des nitrates au début février. Au mois de mars, les concentrations de fer, magnésium, potassium, phosphore, manganèse et couleur étaient très élevées alors que les concentrations de sulfates étaient descendues jusqu'à 4,0 mg/l.

Les moyennes saisonnières des paramètres de qualité de l'eau pour 1986 au lac et à l'exutoire sont présentées au tableau 20 ainsi que les moyennes saisonnières pour la période complète d'échantillonnage. Ainsi pour l'hiver 1986, les paramètres reliés au ruissellement ou aux

TABLEAU 20

MOYENNES SAISONNIERES DES PARAMETRES DE QUALITE DE L'EAU

	Lac - 1986				Exutoire - 1986			
	hiver	print.	été	automne	hiver	print.	été	automne
pH	6,5	6,3	6,4	6,7	6,5	6,2	6,4	6,7
SO_4	4,4	3,9	4,3	4,3	4,7	3,8	4,3	4,4
Cl	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
NO_3	0,13	0,13	0,01	0,02	0,12	0,18	sld	0,03
Cond.	30	23	19	23	28	21	18	22
couleur	23	28	39	26	22	28	36	25
Ca	3,0	2,4	1,9	2,3	2,9	1,9	1,8	2,2
Mg	0,62	0,49	0,47	0,53	0,61	0,37	0,45	0,50
Na	1,1	0,8	0,8	0,9	1,0	0,6	0,7	0,9
K	0,24	0,36	0,25	0,18	0,24	0,31	0,22	0,16
Alc	7,23	5,29	2,82	5,14	7,06	2,81	2,37	4,47
P µg/l	53	46	31	41	54	36	25	39
Al µg/l	111	112	135	88	156	144	122	93
Mn µg/l	22	43	21	13	36	39	17	10
Fe µg/l	150	185	117	132	174	110	89	100
Zn µg/l	8	7	5	5	6	5	4	3

hiver: janvier à mars print : avril, mai été : juin à août
automne: septembre à décembre sld: sous la limite de détection

	Lac 1981-1986				Exutoire 1981-1986			
	hiver	print.	été	automne	hiver	print.	été	automne
pH	6,0	5,9	6,4	6,4	6,3	5,7	6,4	6,4
SO_4	4,3	4,2	4,4	4,0	4,4	4,0	4,2	4,3
Cl	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
NO_3	0,21	0,23	0,02	0,04	0,18	0,23	0,01	0,05
Cond.	27	26	20	24	28	24	20	23
couleur	19	25	29	22	18	27	31	23
Ca	3,0	2,5	2,0	2,4	2,9	2,2	1,9	2,3
Mg	0,64	0,52	0,45	0,52	0,60	0,42	0,42	0,50
Na	1,1	0,9	0,8	0,9	1,1	0,7	0,7	0,9
K	0,23	0,31	0,22	0,18	0,23	0,32	0,20	0,17
Alc	7,21	5,63	3,63	5,53	7,20	4,14	3,43	4,84
P µg/l	43	42	29	36	41	35	26	37
Al µg/l	81	95	116	94	98	114	113	103
Mn µg/l	20	37	10	9	30	40	10	7
Fe µg/l	153	167	82	130	154	150	79	118
Zn µg/l	6	6	5	4	5	5	3	3

sédiments ont des concentrations généralement fortes alors que les paramètres de minéralisation sont près de la moyenne. Dans le lac, les concentrations de nitrates étaient très faibles.

Dans les eaux du lac, l'aluminium, le potassium, la couleur, le zinc et le phosphore ont eu les moyennes hivernales les plus élevées en six ans. Les concentrations de sulfates (4,4 mg/l) et de manganèse (0,022 mg/l) étaient également plus fortes que la moyenne et légèrement plus élevées que l'hiver précédent. Le calcium, le sodium, l'alcalinité et le fer étaient dans la moyenne et donc plus bas qu'en 1985. La conductivité (30 µS/cm) est un autre paramètre qui a diminué par rapport à 1985 mais elle est demeurée au-dessus de la moyenne d'hiver. Les concentrations de magnésium et l'ion hydrogène étaient faibles. Le pH moyen était de 6,5.

A l'exutoire, le comportement était semblable sauf que les valeurs du potassium, des sulfates et du manganèse avaient diminué par rapport aux niveaux de 1985 mais demeuraient au-dessus de leur moyennes d'hiver. Il y avait aussi certaines différences pour le magnésium et le fer.

Les charges exportées par l'exutoire représentaient 8% du total annuel dans le cas des sulfates et 10% du total annuel dans celui du calcium. Les exportations de calcium, magnésium, sodium, aluminium, chlorures et sulfates étaient intermédiaires entre les charges faibles de 1982, 1984, 1985 et celles plus élevées de 1981 et 1983 (tableau 21). Pour les nitrates et l'ion hydrogène, les exportations durant l'hiver 1986 étaient semblables aux trois hivers de faible débit.

TABLEAU 21

CHARGES SAISONNIERES A L'EXUTOIRE DE 1981 A 1986
(kg/ha)

Hiver (janvier à mars)

	81*	82	83	84	85	86
SO_4	6,57	1,77	5,89	2,14	2,69	3,45
Alc.	4,77	4,18	6,08	4,04	4,34	5,09
Ca	3,38	1,46	3,44	1,57	1,72	2,06
Na	1,12	0,58	1,26	0,59	0,66	0,73
Mg	0,65	0,30	0,67	0,33	0,37	0,44
Cl	0,69	0,20	0,55	0,22	0,22	0,29
K	0,24	0,10	0,25	0,14	0,13	0,17
NO_3	0,44	0,09	0,35	0,09	0,08	0,09
Al	0,15	0,03	0,14	0,03	0,06	0,11
H	0,0052	0,0003	0,0008	0,0002	0,0003	0,0003

* estimation à partir des données du lac

Printemps (avril, mai)

	81	82	83	84	85	86
SO_4	21,35	7,84	15,53	16,28	14,77	15,74
Alc.	8,75	7,18	8,85	7,51	8,80	8,21
Ca	7,13	5,07	5,91	6,24	5,87	7,23
Na	2,16	1,47	1,87	2,29	2,11	2,16
Mg	1,36	0,80	0,96	1,31	1,12	1,40
Cl	0,98	0,81	1,86	1,39	1,28	1,67
K	0,72	0,76	2,88	0,61	1,03	1,48
NO_3	0,98	0,73	0,63	0,74	0,74	0,42
Al	0,48	0,37	0,40	0,35	0,43	0,69
H	0,0125	0,0082	0,0212	0,0078	0,0082	0,0063

TABLEAU 21 (SUITE)

Eté (juin à août)

	81	82	83	84	85	86
SO_4	13,94	5,17	8,63	8,40	11,75	13,49
Alc.	7,12	6,37	7,40	5,79	7,45	7,19
Ca	5,30	2,92	3,74	3,45	4,58	5,60
Na	2,06	1,16	1,46	1,33	1,64	2,25
Mg	1,18	0,63	0,84	0,76	0,95	1,39
Cl	0,79	0,84	1,07	0,67	0,96	1,22
K	0,38	0,30	0,80	0,19	0,45	0,71
NO_3	0,10	0,05	0,06	0,02	0,03	0,01
Al	0,31	0,22	0,16	0,13	0,36	0,39
H	0,0013	0,0007	0,0009	0,0008	0,0011	0,0016

Automne (septembre à décembre)

	81	82	83	84	85	86
SO_4	5,53	12,03	8,77	7,36	9,01	10,91
Alc.	8,11	13,64	11,11	8,12	9,28	10,80
Ca	3,77	6,29	4,98	3,77	4,56	5,34
Na	1,60	2,61	1,91	1,53	1,72	2,15
Mg	0,75	1,33	1,12	0,83	1,02	1,24
Cl	0,52	1,28	0,74	0,63	0,74	0,96
K	0,19	0,40	0,44	0,21	0,38	0,38
NO_3	0,07	0,33	0,09	0,07	0,05	0,06
Al	0,12	0,46	0,13	0,14	0,26	0,23
H	0,0006	0,0020	0,0012	0,0008	0,0007	0,0005

3.3.2 Fonte printanière 1986.

Il y a eu deux périodes de fonte distinctes en 1986 soit du 30 mars au 8 avril et du 18 avril au 2 mai (Thomassin et Jones, 1987). A la fin de cette deuxième période, les débits à l'exutoire ont été exceptionnellement forts et le lac a perdu son couvert de glace la semaine suivante.

Fonte intermittente

La première fonte de 1986 a été le résultat d'un réchauffement de l'air. Le 26 mars, la température a atteint 11°C. Le couvert de neige a baissé de façon importante passant de 80 cm à 18 cm le 6 avril (figure 19) Il y a eu peu de précipitations durant cette diminution du couvert de neige. En réponse, le niveau du lac a augmenté et le débit à l'exutoire s'est maintenu autour de 0,006 m^3/s jusqu'au 1er avril pour ensuite doubler jusqu'au 6 avril.

Le volume des eaux de fonte était d'environ 75 mm et les concentrations des paramètres chimiques étaient plus élevées que celles de la deuxième période (tableau 22) (Thomassin et Jones, 1987). Entre le 1er et le 4 avril, le pH des eaux de fonte variait de 4,24 à 4,45 et la conductivité variait de 21 à 33 $\mu S/cm$ (figure 20). Les sulfates et les nitrates étaient de l'ordre de 50 $\mu eq/l$ et 35 $\mu eq/l$ respectivement.

La réponse du lac a été moins prononcée que lors de la fonte subséquente. Au début avril, le pH est descendu à 6,2 et les concentrations de manganèse, de fer, d'aluminium et de nitrates ont augmenté alors qu'il y a eu des légères dilutions du sodium, du zinc, du

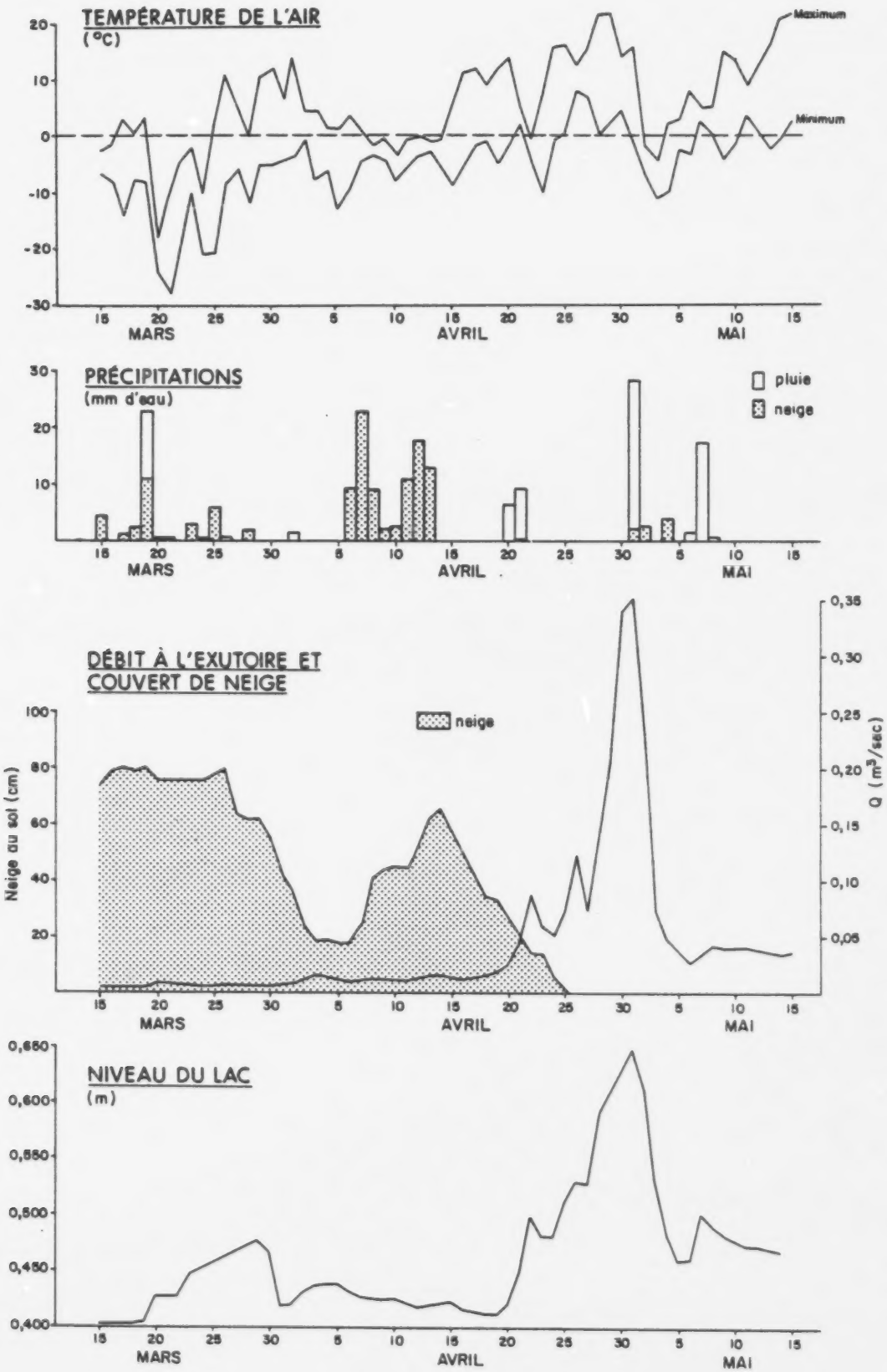

Figure 19: **Paramètres hydrométéorologiques durant la fonte de 1986**

TABLEAU 22

QUALITE DES EAUX DE FONTE EN 1986
(Thomassin et Jones, 1987)

AVRIL	pH	Cond µS/cm	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Mn mg/l	Fe mg/l	Al mg/l
1-4	4,24-4,45	27	0,31	0,045	0,06	0,09	0,035	0,013	0,016
18-30	4,47-4,9	14	0,15	0,022	0,13	0,11	0,012	0,007	0,008

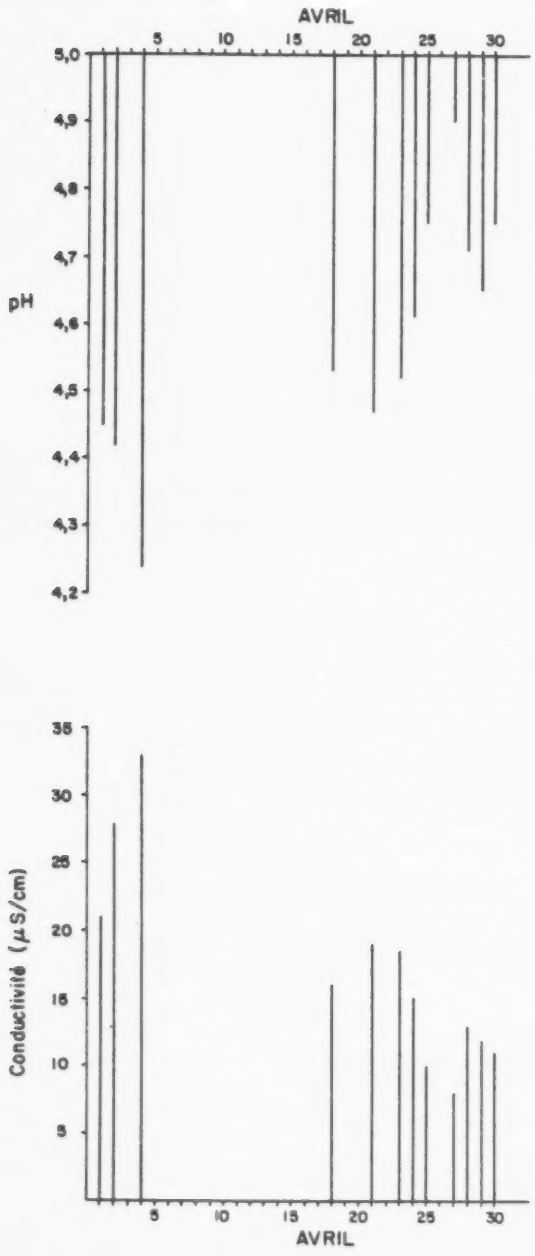

Figure 20: **Conductivité et pH des eaux de fonte en 1986** (Thomassin et Jones, 1987)

potassium, du phosphore et de la couleur. Le maximum annuel de nitrates (0,22 mg/l) a été atteint durant cette période et ne représente que la moitié des maximum enregistrés les autres années (de 0,37 à 0,52 mg/l). Le 8 avril, l'alcalinité et les sulfates avaient diminué à des valeurs de 6,9 mg/l et 3,8 mg/l respectivement. Curieusement il n'y a pas eu de dilution du calcium durant cette première fonte.

A l'exutoire, les dilutions ont été plus prononcées et plus généralisées qu'au lac. Les quatre cations majeurs, l'alcalinité, le phosphore, les chlorures, les sulfates, la couleur, le fer et le manganèse ont tous subi des baisses de concentrations. Par contre, il y a augmentation de l'ion hydrogène et les concentrations de nitrates ont atteint leur maximum annuel (0,45 mg/l). Ce niveau de nitrates est comparable aux valeurs les plus élevées mesurées les autres printemps soit de 0,44 mg/l en 1981 et 1982 et de 0,42 mg/l en 1984 et 1985. Le 8 avril 1986, les concentrations d'aluminium ont atteint 0,31 mg/l et les concentrations de sulfates avaient diminué à 3,6 mg/l (figures 6, 7).

Le bassin a connu une période de gel du 8 au 14 avril et entre le 6 et le 14 avril, il a reçu 88,4 mm d'eau sous forme de neige soit une bonne partie des précipitations du mois (105,9 mm). Du bulletin des pH on retire que les précipitations n'étaient pas très acides (pH = 4,6). Les effets de la période de gel étaient l'inverse de ceux de la fonte. Ainsi le pH, l'alcalinité et les concentrations de sulfates ont augmenté et il y a eu diminution de nitrates et d'aluminium.

Fonte massive

La température est passé de nouveau au dessus de zéro le 15 avril et le couvert de neige a recommencé à diminuer. Le débit s'est maintenu autour de 0,015 m^3/s jusqu'au 19 avril et a atteint 0,088 m^3/s le 22 avril avant de redescendre à cause du gel. Il y a eu peu de précipitations durant les deux dernières semaines d'avril et le couvert de neige était presque inexistant après le 25 avril (figure 19). Le débit a augmenté de façon importante du 27 avril au 1er mai 1986 pour atteindre le plus haut niveau enregistré en six ans soit de 0,3 m^3/s. Une pluie importante a également laissé 26 mm d'eau sur le bassin le 1er mai. Les températures sont passées sous zéro dans les jours suivants.

Les eaux de fonte durant la période du 18 avril au 2 mai 1986 représentaient 300 mm d'eau et avaient un pH qui variait de 4,47 à 4,90, donc étaient moins acides qu'au début du mois (Thomassin et Jones, 1987). Les concentrations de nitrates (19 $\mu eq/l$), de sulfates (25 $\mu eq/l$) et l'ion ammonium (8 $\mu eq/l$) étaient plus faibles qu'au début avril. L'aluminium demeurait bas dans les eaux de fonte (<5 $\mu eq/l$ Al^{3+}).

Thomassin et Jones (1987) ont également étudié l'influence de la couche de sol organique sur les concentrations des paramètres dans l'eau de fonte. En 1986, les eaux de percolation contenaient moins de nitrates et plus de sulfates, d'ion ammonium, de potassium, de sodium, de magnésium, de calcium, d'aluminium, de manganèse et de fer que les eaux de fonte. La diminution des nitrates lors du passage dans les couches organiques en 1986 est intéressante car des augmentations de nitrates avaient été rapportées dans le passé (Bédard, 1984).

Au début de la fonte, le pH des eaux de percolation (4,32 à 4,52) était plus élevé que le pH des eaux de fonte (4,24 à 4,42). Durant la seconde partie, le pH des eaux de percolation (4,35 à 4,65) était plus faible que celui des eaux de fonte (4,53 à 4,90). Le sol organique avait donc un rôle neutralisant durant la première fonte et par la suite, son influence était de plus en plus acidifiante.

La couche organique semblait être le site d'immobilisation des nitrates par les microorganismes, de nitrification, de dénitrification, de déplacement des ions ammoniums de leurs sites d'échange, de minéralisation du soufre organique, de solubilisation de l'aluminium et de remplacement des cations majeurs, du fer et du manganèse des sites d'échange de l'horizon organique.

Comme au printemps 1983, les effets de la fonte massive de 1986 ont été très importants à l'exutoire. Le 6 mai, les concentrations de calcium (1 mg/l), de magnésium (0,2 mg/l) et l'alcalinité (0,42 mg/l) étaient très basses et la conductivité a atteint un minimum pour la période de six ans. Par contre, la couleur et les concentrations d'aluminium étaient très fortes. Les concentrations de nitrates ont continué la diminution entamée depuis la première fonte. Le pH de l'eau était descendu à 5,4 à l'exutoire comparativement à 6,2 au lac. Ces dépressions du pH étaient moins prononcées que les années précédentes où l'on avait mesuré des minimums annuels de 4,6 (1981) et 5,8 (1982, 1983, 1985) au lac et de 4,0 (1981), 5,0 (1982, 1983), 5,2 (1984) et 5,3 (1985) à l'exutoire. Les diminutions d'alcalinité en 1986 étaient cependant du même ordre que les autres printemps.

Dans le lac, les concentrations de sulfates étaient descendues à un minimum de 2,3 mg/l le 29 avril 1986 pour remonter à 4,1 mg/l le 6 mai. Les concentrations de nitrates étaient également montées légèrement le 6 mai et la couleur avait atteint 40 unités. Les concentrations des paramètres de minéralisation (Ca, Mg, Na) et la conductivité avaient diminué du 15 avril au 6 mai et elles sont demeurées basses durant tout le mois de mai. Ces dilutions soutenues ont été provoquées par les pluies importantes du mois de mai (160,7 mm). Contrairement à d'autres années où le mois de mai apportait des précipitations très acides, le pH moyen de 1986 était de 4,5.

A partir du 6 mai, il y a eu très peu de nuits avec gel, les températures le jour étaient relativement élevées et le lac n'a pas tardé à perdre son couvert de glace. Le 15 mai, le maximum journalier était de 21,5°C. A cause des pluies importantes, il n'y a pas eu la récupération habituelle après le calage du lac de la qualité des eaux.

En avril et mai 1986, le débit printannier (437 mm) a été plus fort que les cinq autres années. Les concentrations de sulfates, de nitrates, de calcium, de sodium, de magnésium et l'alcalinité et la conductivité étaient plus faibles que la moyenne alors que le pH, la couleur et les concentrations d'aluminium étaient au dessus de la moyenne saisonnière. Il en a résulté que les charges à l'exutoire ont été les plus élevées en six ans pour le calcium, le magnésium et l'aluminium et que les charges de l'ion hydrogène et des nitrates étaient les plus faibles des six printemps. Les exportations de sulfates ont été de l'ordre de 15 kg/ha depuis quatre ans.

3.3.3 Eté 1986

Bien que 1983 et 1986 soient deux années de fortes précipitations, elles diffèrent cependant dans la répartition de cette lame d'eau. En 1983, il y a eu un été sec entre un printemps et un automne humides. En 1986 c'est surtout durant l'été que les précipitations ont été de beaucoup supérieures à la moyenne (figure 18). Le débit de l'été 1986 était également très élevé. Les exportations de calcium, de l'ion hydrogène, de magnésium, des chlorures, de l'aluminium et de sodium ont été les plus élevées des six étés. Les exportations de sulfates et de potassium étaient également fortes. Seules les exportations d'alcalinité étaient dans la moyenne saisonnière. Une fois de plus, les exportations de nitrates étaient très faibles.

Avec les débits élevés de 118 mm en juin, 117 mm en juillet et 78 mm en août, il aurait dû y avoir dilution des paramètres de minéralisation et possiblement une augmentation des paramètres reliés au ruissellement et aux particules. Compte tenu des faibles charges atmosphériques, il pourrait y avoir diminution des éléments aéroportés dans les eaux de surface.

Les concentrations de calcium, de l'alcalinité, de la conductivité et des nitrates étaient en effet plus basses que la moyenne. D'autre part, les concentrations de potassium, d'aluminium, de fer et la couleur étaient plus élevées que leur moyenne estivale. Quelques paramètres demeuraient dans la moyenne: l'ion hydrogène, le sodium et le phosphore.

Les concentrations de sulfates étaient de 4,3 mg/l au lac et à l'exutoire ce qui représente des niveaux inférieurs à la moyenne pour le lac (4,4 mg/l) et des niveaux au dessus de la moyenne pour l'exutoire (4,2 mg/l). Aux deux sites les valeurs sont toutefois plus basses qu'en 1985 ce qui renverse la tendance à la hausse des sulfates des dernières années. Les concentrations d'aluminium sont descendues de façon marquée après la mi-juillet renversant également une tendance à la hausse depuis 1983 (figures 4 et 6).

Comme en 1985, il y a également eu des événements épisodiques en 1986. Les pluies importantes du 16 juin (pH = 4,36: volume = 44,4 mm) du 6 juillet (pH = 4,8; volume = 63,4 mm) et du 25 juillet (pH = 3,7; volume = 13,8 mm) ont apporté des charges acides importantes au bassin. Dans les eaux du lac, il y a des diminutions du pH après chaque événement pour atteindre un pH de 6,2 et une augmentation de l'aluminium. Pour les deux premiers événements, il y a également eu des diminutions de l'alcalinité (6 et 14 μeq/l), une augmentation de la couleur (7 et 4 unités) et une augmentation du manganèse.

A l'exutoire, les effets du dernier épisode n'ont pas été détectés lors de l'échantillonnage quatre jours après la pluie. Dans le cas des deux premières pluies, les mêmes réactions du pH, de la couleur, du manganèse et de l'alcalinité ont été observées avec de plus des augmentations de phosphore, de l'aluminium, du fer et du zinc.

3.3.4 Automne 1986

Durant l'automne 1986, les précipitations et les débits ont été encore une fois au-dessus de la moyenne. Le débit automnal le plus important a été mesuré en 1982 malgré les précipitations totales plus importantes en 1983 et 1986. Ceci est dû à la fraction tombée sous forme de neige et qui est demeurée au sol. Les charges exportées à l'exutoire étaient donc généralement plus élevées à l'automne 1982 que les autres années (tableau 21).

Les concentrations de calcium et de nitrates ainsi que l'alcalinité sont demeurées sous la moyenne saisonnière. Les concentrations d'aluminium qui étaient très élevées en 1986 sont passées sous la moyenne. Les concentrations de l'ion hydrogène étaient elles aussi extrêmement faibles. Les sulfates, la couleur et le phosphore sont demeurés au-dessus de la moyenne saisonnière.

La glace a pris à une date hâtive le 31 octobre 1986. L'accumulation d'un couvert permanent de neige a commencé au début novembre. Suite aux nombreuses chutes de neige, l'épaisseur au sol le 31 décembre était de 70 cm.

En 1986 le bassin a reçu beaucoup de précipitations surtout en janvier et durant les mois d'été. Il n'y a pas eu d'étiage prononcé et il y a eu des périodes de fonte hivernale. Des débits très forts ont été enregistrés le 30 avril et le 1er mai. Les dilutions des paramètres de minéralisation ont été de ce fait très importantes à l'exutoire au printemps 1986 et se sont poursuivies durant l'été. Les dépressions du

pH durant la fonte ne semblaient pas aussi prononcées que les printemps précédents.

Il y a eu plusieurs changements assez importants dans les paramètres que l'on associe à l'acidification. Les concentrations et les charges de nitrates ont été très faibles durant toute l'année. Il y a eu des baisses importantes dans les concentrations des sulfates et de l'aluminium après la fonte renversant ainsi des tendances à la hausse de plusieurs années. Le pH des eaux de surface était élevé durant l'automne et les charges annuelles exportées de l'ion hydrogène étaient très basses. Par contre, les charges de sulfates (43 kg/ha) atteignaient un maximum de six ans.

4. TENDANCE DANS LA QUALITE ET LES CHARGES DE 1981 A 1986

La surveillance des tendances dans la qualité des précipitations et des eaux de surface ainsi que des charges atmosphériques et des bilans massiques en relation avec le transport à distance de polluants atmosphériques n'a commencé que récemment. On ne dispose que de quelques séries fiables et validées en Amérique du Nord et très peu au Québec. Les conclusions tirées de ces bases de données ne peuvent être utiles que pour dégager un contexte général.

4.1 Tendance pour les précipitations

Selon les inventaires et les estimations, les émissions de soufre et de composés azotés auraient évolué de la façon suivante durant les trente dernières années (CFPCRS, 1986). Les émissions canadiennes de SO_2 seraient passées de 4,6 millions de tonnes en 1955, à 6,7 millions de tonnes en 1970 avant de tomber à 4,6 millions de tonnes en 1980. Aux Etats-Unis, il y a eu le même genre d'évolution avec des niveaux d'émissions cinq fois plus forts. De 1979 à 1982, la baisse des émissions de SO_2 se serait accélérée dans les deux pays coïncidant avec la récession économique mais d'après certains indices les émissions se seraient de nouveau accrues de 1983 à 1985.

Les émissions canadiennes de NO_x ont largement doublé entre 1955 et 1980 passant de 0,6 millions à 1,7 millions de tonnes. Aux Etats-Unis, l'augmentation a été de 9 millions de tonnes en 1950, à 21 millions de tonnes en 1980. De 1983 à 1985, les émissions de NO_x aux Etats-Unis ont diminué légèrement tandis qu'au Canada elles sont

demeurées relativement constantes.

Du côté des concentrations des substances acidifiantes dans les précipitations, les réseaux sont pour la plupart en opération depuis la fin des années soixante et dix. Ils indiquent de façon générale, que dans l'est de l'Amérique du Nord, l'emplacement et la taille des corridors de dépôts maximum de sulfate (>40 kg/ha) changent d'une année à l'autre en fonction de la puissance des sources d'émission, des champs de vent et des configurations des précipitations mais demeurent dans la région du sud de l'Ontario, en Ohio, à New-York, en Pensylvanie et dans l'ouest de la Virginie. Il n'y a aucun changement global significatif dans la distribution spatiale ou l'intensité des profils de dépôts. Le sud du Québec reçoit une charge de dépôts humides de plus de 20 kg/ha/an depuis les dernières années, même si la limite de cette région varie de quelques centaines de kilomètres d'une année à l'autre.

Si on considère quelques sites particuliers, on note soit des diminutions soit des augmentations dans le dépôt de substances acidifiantes. Ainsi à Hubbard Brook au New Hampshire, plusieurs rapports s'accordent sur les tendances dans les précipitations depuis 1964: aucune tendance significative pour l'ion hydrogène, des diminutions des sulfates, des cations majeurs et des chlorures et une augmentation des nitrates jusqu'en 1971 suivi d'une stabilisation (Stenland et al., 1987). En Nouvelle-Ecosse, il semble y avoir eu diminutions des dépôts de sulfates, de nitrates et de l'ion hydrogène depuis 1980 (Underwood, 1985). A 19 stations du réseau du Programme National des Dépôts Atmosphériques aux Etats-Unis, entre 1978 et 1983,

il y avait des baisses de sulfates et de nitrates dans au moins la moitié des stations et seulement deux stations démontraient une augmentation des nitrates (Pickering et Kapinos, 1985).

Dans la région des lacs expérimentaux en Ontario (ELA) il y a eu des augmentations importantes des dépôts de substances acidifiantes après 1982 (Linsey et Schindler, 1985).

Au Québec, un réseau provincial de qualité des précipitations (REPQ) opère depuis 1982. Les résultats de ce réseau indiquent dans l'ensemble que les dépôts acides de 1985 ont été aussi élevés qu'en 1982, 1983 et 1984 (Grimard, 1984, 1985; Jacques et Grimard, 1987). Les données pour trois stations les plus proches du lac Laflamme sont données au tableau 23.

TABLEAU 23. CHARGES MENSUELLES A TROIS STATIONS DU RESEAU D'ECHANTILLONNAGE DES PRECIPITATIONS DU QUEBEC

	Montmorency				Grande-Anse			Sainte-Catherine			
Année	82	83	84	85	83	84	85	82	83	84	85
SO_4 (kg/ha)	30	28	28	29	21	20	19	47	34	30	30
H (kg/ha)	0,7	0,6	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	1,0	0,6	0,6	0,5
NO_3 (kg/ha)	5,6	4,2	5,1	5,7	3,3	3,2	3,4	7,9	5,1	5,1	4,5

Au lac Laflamme, une série de cinq ans de données de précipitations est disponible. Cette série courte pourrait toutefois donner quelques indications sur les tendances dans la qualité et les dépôts des substances acidifiantes. Dans le cas des substances neutralisantes, il y a eu des problèmes analytiques et la détection de tendances serait peu fiable.

Les moyennes annuelles des paramètres dans les précipitations ont été données au tableau 6. Les concentrations de l'ion hydrogène, des sulfates et des nitrates étaient plus basses en 1981 et 1983 que les autres années. Les concentrations de ces paramètres semblent avoir augmenté en 1984 et 1985. L'ion ammonium suit la même tendance. L'évolution des moyennes mensuelles de ces quatre paramètres est donnée à la figure 21. L'analyse par régression des valeurs mensuelles indique qu'il y a eu augmentation non significative des sulfates (2%/an), des nitrates (5%/an), et de l'ion ammonium (1%/an), et une augmentation significative de l'ion hydrogène de 1981 à 1985.

Lorsque les charges sont calculées par année hydrologique on note des augmentations des charges atmosphériques humides annuelles des sulfates, de l'ion hydrogène et des nitrates (tableau 24). Les charges de l'ion ammonium et du magnésium sont plus élevées les deux dernières années que les deux premières. Il semble donc que rien n'indique des baisses des charges atmosphériques sur le bassin pour la période avant 1986. Les charges atmosphériques de sulfates sont même assez élevées en 1984-85 soit 27 kg/ha.

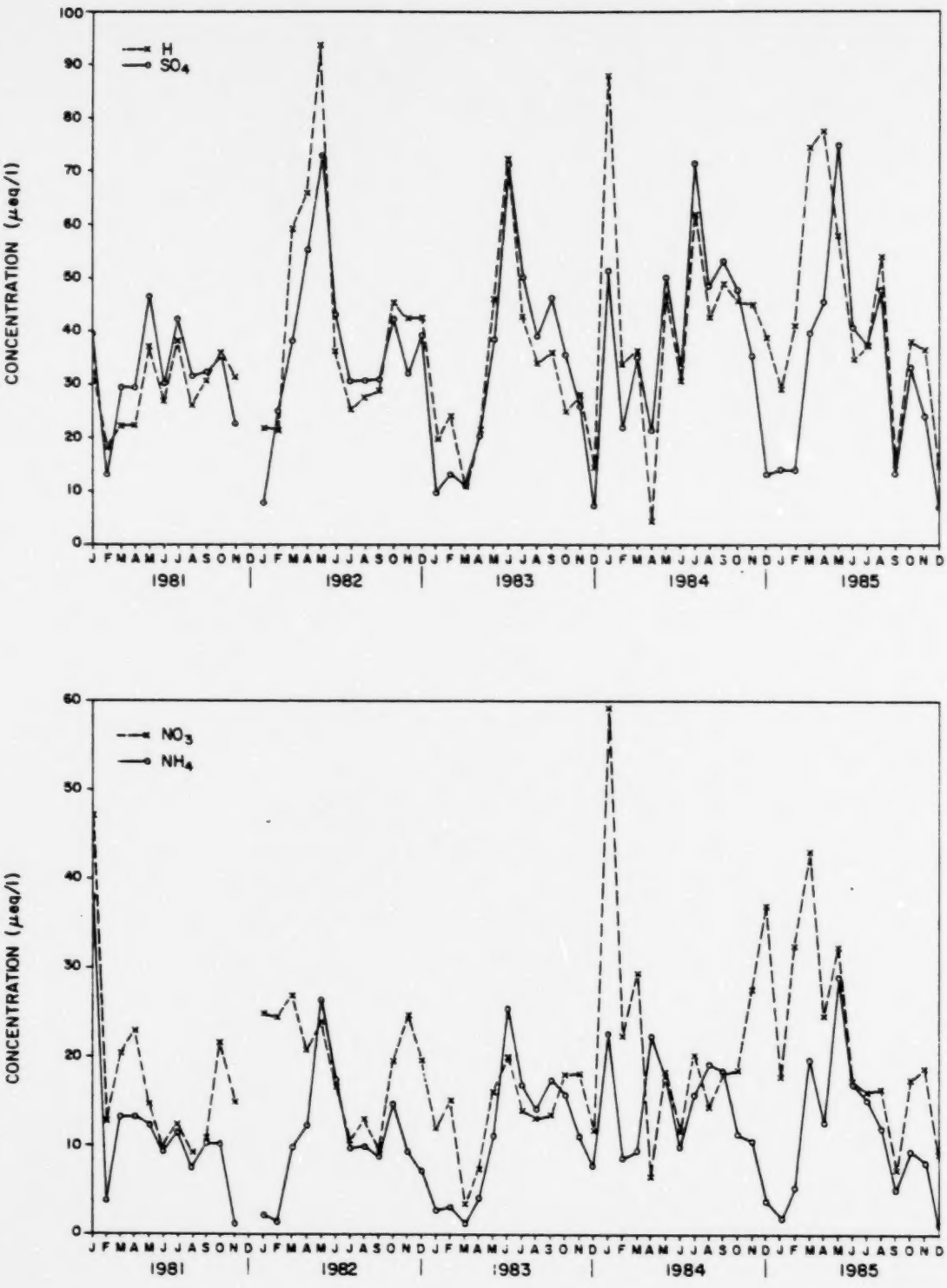

Figure 21: **Concentrations mensuelles des paramètres dans les précipitations**

TABLEAU 24

CHARGES ANNUELLES DANS LES PRECIPITATIONS AU LAC LAFLAMME

Ion kg/ha	1981	1982	1983	1984	1985	1981-82	1982-83	1983-84	1984-85
SO_4^{--}	19,39	21,14	23,96	23,23	23,12	18,18	22,61	23,30	27,00
H^+	0,38	0,50	0,52	0,51	0,62	0,43	0,52	0,47	0,67
$N\text{-}NO_3^-$	2,91	3,36	3,17	3,66	4,12	2,73	3,27	3,32	4,39
$N\text{-}NH_4^+$	1,77	1,74	2,6e	2,27	2,32	1,38	1,83	2,98	2,41
Cl^-	1,12	2,11	---	---	1,35	1,52	1,85	---	---
Ca^{++}	1,25	0,93	1,91	2,0e	1,15	0,96	0,95	2,43	1,7e
Na^+	1,22	1,07	---	---	0,39	0,94	0,88	---	---
K^+	0,27	0,22	0,39	0,30	0,21	0,20	0,30	0,38	0,28
Mg^{++}	0,19	0,13	0,26	0,27	0,21	0,13	0,15	0,34	0,23
Lame d'eau (cm)	136,9	123,7	167,2	116,5	132,4	115,7	160,9	133,8	125,0

e: estimation lorsque le volume analysé est de plus de 55%

4.2 Tendance dans la qualité de l'eau

La qualité des eaux de surface est considérée comme un indicateur assez rapide de l'état d'acidification d'un milieu sensible. Ainsi les charges atmosphériques peuvent modifier plusieurs paramètres de la qualité de l'eau soit par apport direct de cet élément soit par des réactions dans le milieu (solubilisation, échange ionique). L'augmentation des apports atmosphériques a été associée à des diminutions de l'alcalinité, des diminutions du pH, des augmentations des sulfates, des augmentations des cations basiques et des augmentations des métaux traces (l'aluminium, le manganèse, le zinc et possiblement le fer, le cadmium et le nickel) dans les eaux de surface en Amérique du Nord et en Europe.

Il y a moins de cas documentés sur l'effet des diminutions des charges atmosphériques. Dillon et al. (1986) ont étudié des lacs dans la région de Sudbury en Ontario après une réduction des émissions de SO_2 entre 1973 et 1985 et ils ont noté une augmentation du pH et une diminution des concentrations des sulfates. Les concentrations d'aluminium, de cuivre, de nickel et de zinc ont diminué mais les baisses des trois derniers métaux sont liées directement à la réduction de leurs apports atmosphériques provenant des fonderies. Au lac Swan, le pH est passé de 4,0 à 5,1 de 1977 à 1984. Les sulfates, les métaux traces (Al, Mn, Zn, Cd), ont également diminué ainsi que les cations majeurs (Ca, Na, Mg, K).

Un projet unique en Norvège, RAIN, a démontré par manipulation de petits bassins versants que l'acidification des précipitations

provoquait une augmentation de l'acidité, des sulfates, des nitrates et de l'aluminium labile des eaux de surface. Lorsque les substances acidifiantes sont enlevées des précipitations, il y a une réduction rapide des nitrates et une réduction plus lente des sulfates et de l'acidité et de l'aluminium (Wright et al., 1986).

Au lac Laflamme, il y a eu plusieurs tendances dans la qualité de l'eau avec le temps (tableau 25). L'année 1981 a été très différente des autres années. Il y a eu des fontes importantes en hiver avec des réactions importantes du milieu. La fonte printanière a également eu des effets très prononcés. Il y a eu une mortalité massive de truites en juin. Ainsi la plupart des tendances qui seront présentées débutent en 1982.

La plus importante tendance, celle des sulfates débute toutefois durant l'été 1981 et se poursuit jusqu'en 1986 où la tendance commence à s'inverser (figure 22). Le niveau des sulfates dans le lac a augmenté de 3,8 à 4,7 mg/l. L'exutoire est même passé d'un système dominé par le calcium et les bicarbonates à un système dominé par le calcium et les sulfates en 1986. D'autres paramètres qui indiquent une augmentation des charges sont les diminutions de l'alcalinité et les augmentations de métaux traces, Al et Fe.

Une autre série de paramètres, varie de façon contraire aux effets habituels d'une augmentation des charges atmosphériques. Il y a des diminutions des nitrates, de l'ion hydrogène, du sodium et du calcium à partir de 1982 (figure 22). Il y a aussi des baisses moins prononcées

TABLEAU 25

TENDANCE DANS LA QUALITE DE L'EAU DE JUIN 1981 A DECEMBRE 1986

Paramètre	moyenne	constante	r	alpha	6 ans
LAC					
pH (unité)	6,37	6,27	0,26	< 0,001	+0,21
SO_4 (mg/l)	4,12	3,82	0,31	< 0,001	+0,58
Fe (mg/l)	0,128	0,101	0,27	< 0,001	+0,053
NO_3 (mgN/l)	0,098	0,130	-0,17	0,004	-0,06
couleur (unité)	24,3	22,0	0,14	0,018	+4,4
P (mgP/l)	0,036	0,033	0,14	0,021	+0,005
Na (mg/l)	0,93	0,97	-0,12	0,042	-0,08
Alcalinité (mg/l)	5,51	5,90	-0,12	0,043	-0,78
Al (mg/l)	0,095	0,086	0,12	0,043	+0,018
EXUTOIRE					
pH (unité)	6,33	6,23	0,20	< 0,001	+0,21
SO_4 (mg/l)	4,23	3,86	0,35	< 0,001	+0,73
NO_3 (mgN/l)	0,097	0,129	-0,16	0,005	-0,06
Na (mg/l)	0,88	0,94	-0,14	0,018	-0,10
Fe (mg/l)	0,119	0,106	0,13	0,028	+0,03
Al (mg/l)	0,105	0,094	0,12	0,035	+0,02
Alcalinité (mg/l)	4,85	5,31	-0,12	0,037	-0,91

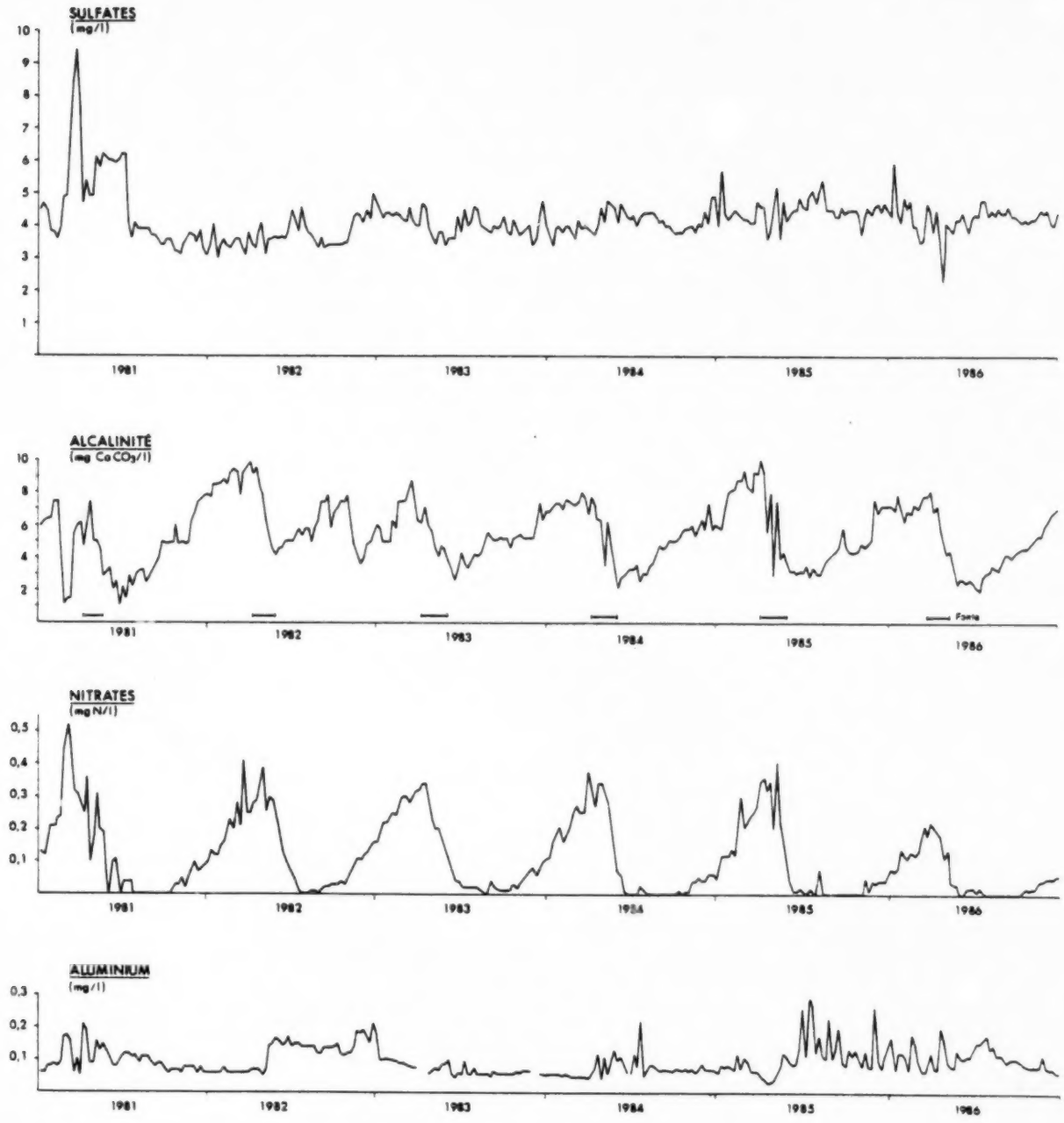

Figure 22: **Tendance dans la qualité de l'eau du lac Laflamme de 1981 à 1986**

du pH lors de la fonte printannière alors que les diminutions d'alcalinité demeurent encore importantes. Ceci pourrait s'expliquer à l'aide de la théorie de Schofield et al. (1985) selon laquelle il faut que les concentrations de nitrates durant la fonte soient suffisamment fortes pour augmenter la somme des anions d'acides forts au-dessus des niveaux dilués des cations de base pour qu'il y ait des baisses importantes (pH < 5) du pH dans le système.

S'il n'y a pas réduction dans les apports atmosphériques (humides et secs) de l'ion hydrogène et des nitrates, il faut que ces ions soient mieux retenus dans le milieu terrestre ou le milieu aquatique (augmentation de l'assimilation par la forêt suite aux épidémies d'insectes, augmentation de l'assimilation par les plantes aquatiques). Une autre possibilité est que les concentrations plus élevées de sulfates agissent sur le cycle des nitrates soit pour augmenter la réduction des nitrates ou ralentir la nitrification ou la minéralisation de l'azote particulaire. McClenahen (1987) a travaillé sur des colonnes de sol et a trouvé que les taux d'exportation des cations (Ca, Mg, K, Al^{3+}) et des nitrates étaient plus élevés dans les colonnes ayant reçu l'apport plus faible de sulfates. Il suggère qu'il y aurait inhibition de la nitrification et donc diminution des exportations de nitrates pour des conditions d'apports importants de sulfates.

Il y a quelques éléments qui ont vu leur tendance changer de direction dont le phosphore, l'aluminium, le fer et le zinc (tableau 26). Le phosphore a diminué de 1981 à la fin 1984 pour ensuite

TABLEAU 26

TENDANCE DANS LA QUALITE DE L'EAU PAR PERIODE DE TROIS ANS

Paramètre	1981-1983	1984-1986	TOTAL 1981-1986
Conductivité	A		
K	A		
Fe	A		A
Couleur	A	A	A
SO_4		A	A
pH		A	A
P	D		A
Zn	D	A	
Al	D	A	A
NO_3		D	D
Na		D	D
Alcalinité		D	D
Ca		D	

A: augmentation
D: diminution

augmenter. Les augmentations du phosphore ont peut-être un lien avec la diminution de l'élément nutritif limitant, les nitrates. Le zinc a diminué jusqu'à la fin 1982 pour ensuite augmenter. Le fer a augmenté jusqu'en 1985 et s'est stabilisé à un niveau plus bas. L'aluminium a diminué de 1981 à 1984 et de juillet 1986 à la fin de l'année et a augmenté entre ces deux périodes (figure 22).

Du côté des charges exportées à l'exutoire, on note une baisse des exportations des nitrates et de l'ion hydrogène depuis l'année hydrologique 1982-83 (tableau 27). Il y a une augmentation des exportations d'aluminium, de phosphore et de zinc depuis 1983-84.

L'utilisation des tests statistiques non paramétriques pourra être un outil utile pour vérifier ces tendance dans le temps.

TABLEAU 27

CHARGES ANNUELLES EXPORTEES A L'EXUTOIRE (KG/HA)

	81	82	83	84	85	86
SO_4	28,75	26,80	38,82	34,18	38,21	43,59
Alc.	28,75	31,37	33,44	25,45	29,87	31,29
Ca	19,57	15,74	18,07	15,03	16,72	20,23
Na	6,94	5,82	6,50	5,74	6,12	7,29
Mg	3,93	3,06	3,59	3,23	3,46	4,46
Cl	2,98	3,13	4,21	2,92	3,19	4,15
K	1,53	1,55	4,38	1,16	2,00	2,74
NO_3	1,59	1,21	1,14	0,92	0,90	0,59
Al	1,07	1,08	0,83	0,65	1,11	1,42
P	0,40	0,26	0,27	0,22	0,28	0,36
H	0,020	0,011	0,024	0,010	0,010	0,009

	81-82	82-83	83-84	84-85	85-86	moyenne
SO_4	29,07	38,62	35,82	33,21	39,95	35,33
Alc.	26,59	34,93	30,06	27,04	30,03	29,73
Ca	15,60	18,55	16,54	14,80	18,43	16,78
Na	5,71	6,90	6,25	5,62	6,25	6,15
Mg	3,03	3,59	3,60	3,08	3,81	3,42
Cl	2,32	4,52	3,42	2,79	3,66	3,34
K	1,43	3,83	2,00	1,57	2,48	2,26
NO_3	0,99	1,37	0,98	0,90	0,60	0,97
Al	0,83	1,22	0,67	0,76	1,42	0,98
Fe	0,67	1,14	1,01	0,92	0,94	0,93
P	0,30	0,31	0,19	0,26	0,33	0,28
Zn	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04
H	0,010	0,025	0,010	0,010	0,008	0,013

CONCLUSION

En 1985, le bassin du lac Laflamme a continué à être exposé à des précipitations acides. La lame de 1,3 m d'eau avec un pH moyen de 4,3 a apporté 23 kg/ha de sulfate humide au bassin. Contrairement à d'autres sites en Amérique du Nord, le lac Laflamme entre 1981 et 1985 ne semblait pas être dans une situation de réduction des charges atmosphériques. Les premières indications sur la qualité des précipitations en 1986 tendent à indiquer une diminution des charges acidifiantes mais cette situation peut être seulement le résultat des conditions météorologiques spéciales de 1986.

Les apports atmosphériques continuent de provoquer des acidifications à court terme lors de la fonte des neiges au printemps et lors des pluies très importantes. A plus long terme, les changements dans les eaux de surface entre 1981 et 1986 ont été une augmentation importante des sulfates, des augmentations des métaux traces (Fe, Al) et des diminutions du sodium et de l'alcalinité. En 1986, sur une base annuelle, l'exutoire a même passé d'un milieu dominé par le calcium et les ions bicarbonates à un milieu dominé par le calcium et les sulfates.

Un autre phénomène important dans le bassin est la diminution des concentrations et des exportations des nitrates et de l'ion hydrogène dans les eaux de surface depuis 1982. Les diminutions du pH lors de la fonte printannière semblent aussi être moins prononcées. Comme rien n'indique que les charges atmosphériques humides aient diminué, il

n'indique que les charges atmosphériques humides aient diminué, il faudrait qu'il y ait une meilleure rétention des apports dans le bassin ou une production interne réduite de ces deux ions.

Des changements intéressants sont survenus dans la qualité des eaux de surface au milieu de l'année 1986. Les tendances à la hausse des sulfates et de l'aluminium se sont renversées et le pH des eaux a augmenté résultant en un pH automnal de 0,3 unité plus élevé que la moyenne saisonnière. Les données de 1987 permettront sans doute de juger de la persistance de ces nouveaux changements.

Bibliographie

Bédard, Y., 1984. Evolution de la qualité des eaux de fonte au lac Laflamme (Québec), printemps 1984. INRS-Eau pour Environnement Canada, Direction des eaux intérieures, région du Québec. 52 p.

Borg, H., 1986. Metal Speciation in Acidified Mountain Streams in Central Sweden. Water Air Soil Pollut, 30 1007-1014.

Campbell, P.G.C., D. Thomassin, A. Tessier, 1986. Aluminum Speciation in Running Waters on the Canadien Pre-cambrien Shield: Kinetic Aspects. Water Air Soil Pollut 30, 1023-1032.

Comité fédéral provincial de coordination de la recherche et de la surveillance, 1986. Evaluation des connaissances sur le transport à grande distance des polluants atmosphériques et sur les dépôts acides. Environnement Canada (éditeur) 6 volumes.

Dillon, P.J., R.A. Reid, R. Girard, 1986. Changes in the Chemistry of Lakes near Sudbury, Ontario Following Reduction of SO_2 Emissions. Water Air Soil Pollut, 31, 59-65.

Grimard, Y. 1985. Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec: Sommaire des données de la qualité des eaux de précipitations 1984. Ministère de l'Environnement du Québec, rapport PA-19, 99 pages.

Grimard, Y., 1984. Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec: Sommaire des données de la qualité des eaux de précipitations 1981-1982-1983. Service de la qualité des eaux, ministère de l'Environnement du Québec, rapport PA-11, 163 p.

Jacques, G., Y. Grimard, 1987. Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec: Sommaire des données de la qualité des eaux de précipitations 1985. Ministère de l'Environnement du Québec, rapport PA-26, 73 pages.

Jones, H.G., W. Sochanska, J.Y. Charette, J. Stein, 1986. Aspect qualitatif du développement au bassin du lac Laflamme d'un modèle prédictif de l'impact des précipitations acides: phase de la fonte printanière de 1985. INRS-Eau pour Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, région du Québec. 142 p.

Linsey, G.A., D.W. Schindler, 1985. Atmospheric Deposition of Major Ions at the Experimental Lakes Area in Northwestern Ontario, 1970-1984. International Symposium on Acid Precipitation, Muskoka, Sept. 15-20.

McClenahen, J.R., 1987. Effects of Simulated Throughfall pH and Sulfate Concentration on a Deciduous Forest Soil. Water Air Soil Pollut 35 319-333.

Pickering, R.J., F.P. Kapinos, 1985. Monitoring of Precipitation Chemistry in the United States Through the National Trends Network. International Symposium on Acid Precipitation, Muskoka, Sept. 15-20.

Schofield, C.L., J.N. Galloway, G.R. Hendry, 1985. Surface Water Chemistry in the ILWAS Basins. Water Air Soil Pollut 26, 403-423.

Stensland G.J., D.M. Whelpdale, G. Oehlert, 1986. Precipitation Chemistry. In: Acid Deposition Long-Term Trends. National Academy Press. Washington, 128-199.

Thomassin, Y., G.H. Jones, 1987. Etude du rôle de l'horizon organique lors de la fonte printanière au lac Laflamme. INRS-Eau pour Environnement Canada, Direction des eaux et des terres, région du Québec. 33 p.

Underwood, J.K., 1985. Acid Deposition in Nova Scotia: Seven Years of Record. International Symposium on Acid Precipitation, Muskoka, Sept. 15-20.

Vet, R.J., W.B. Sukloft, M.E. Still, R. Gilbert, 1986. Canadian Air and Precipitation Monitoring Network CAPMoN, Precipitation Chemistry Data Summary 1983-1984. Environment Canada, Atmospheric Environment Service. Air Quality Monitoring and Assessment Division. 544 p.

Wright, R.F., E. Gjessing, N. Christophersen, E. Lotse, H.M. Seip, A. Semb, B. Sletaune, R. Storhaug, K. Wedum, 1986. Project Rain: Changing Acid Deposition to Whole Catchments. The First Year of Treatment. Water Air Soil Pollut, 30, 47-63.

ANNEXE 1 Données de laboratoire du lac Laflamme (1985)

Date	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	AlcG mg/l	SO_4 mg/l	Cl mg/l	NO_3 mg/l	P mg/l	COND µS/cm	COUL unité	Al mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Zn mg/l
85 1 3	---	2,6	0,6	0,9	0,2	----	4,0	0,4	----	0,040	--	--	0,060	0,15	0,014	0,005
8	6,2	2,8	0,6	1,2	0,2	5,80	5,7	0,5	0,12	-----	30	17	0,085	0,14	0,01	0,006
15	6,2	2,9	0,6	1,2	0,2	6,76	4,4	0,6	0,12	0,042	30	11	0,080	0,14	<0,01	0,007
22	6,2	2,8	0,6	1,2	0,2	8,10	4,2	0,4	0,12	0,049	30	8	0,083	0,18	0,02	0,009
29	6,2	3,1	0,7	1,2	0,2	I	I	0,5	0,14	0,050	34	20	0,073	0,17	0,02	0,009
2 5	6,2	3,1	0,7	1,3	0,3	8,34	4,5	0,5	0,12	0,056	31	I	0,068	0,17	0,01	0,008
12	6,6	3,7	0,7	1,2	0,3	8,80	4,4	0,4	0,21	0,045	34	26	0,119	0,24	0,02	0,007
19	6,3	3,4	0,7	1,3	0,3	8,76	4,3	0,5	0,30	0,046	34	20	0,073	0,19	0,02	0,006
26	6,1	3,2	0,7	1,2	0,3	9,38	4,2	0,4	0,21	0,045	34	15	0,104	0,22	0,02	0,007
3 6	6,4	3,4	0,7	1,4	0,4	8,47	4,2	0,6	0,22	0,049	36	20	0,097	0,15	0,02	0,010
12	6,2	3,3	0,7	1,2	0,2	8,13	4,1	0,4	0,24	0,052	33	13	0,065	0,18	0,02	0,004
19	6,1	3,1	0,7	1,2	0,2	9,26	4,1	0,4	0,25	0,055	34	13	0,064	0,21	0,03	0,006
26	6,2	3,1	0,7	1,2	0,2	9,22	4,8	0,5	I	0,046	35	10	0,063	0,22	0,03	0,011
4 2	6,4	3,6	0,8	1,3	0,3	10,05	4,6	0,6	0,35	0,050	36	25	0,045	0,44	0,08	0,006
9	6,3	3,3	0,8	1,6	0,3	9,26	4,6	0,7	0,36	0,053	35	17	0,038	0,35	0,04	0,012
16	6,1	2,2	0,5	0,8	0,2	5,59	3,6	0,3	0,32	0,035	25	10	0,028	0,15	0,03	0,008
23	6,1	2,8	0,7	1,1	0,3	8,01	3,9	0,4	0,35	0,043	32	37	0,034	0,26	0,04	0,006
30	6,1	1,4	0,3	0,6	0,2	3,00	---	0,3	0,20	0,023	16	15	0,039	0,19	0,02	0,005
5 7	6,4	2,7	0,6	0,9	0,3	7,46	5,2	0,4	0,41	0,048	29	30	0,060	0,23	0,04	0,007
14	5,8	1,8	0,4	0,7	0,3	4,04	3,6	0,4	0,22	0,039	22	22	0,080	0,15	0,03	0,009
21	5,9	2,3	0,5	0,9	0,4	4,42	4,8	0,5	0,17	0,041	26	29	0,125	0,17	0,04	0,009
28	6,5	1,9	0,4	0,6	0,2	3,63	4,2	0,4	0,10	0,035	23	35	0,117	0,13	0,03	0,006
6 4	6,3	1,8	0,4	0,6	0,3	3,21	4,4	0,5	0,04	0,031	21	8	0,095	0,080	0,02	0,006
11	6,6	1,9	0,4	0,7	0,3	3,17	4,5	0,4	0,01	0,027	21	25	0,084	0,055	0,01	0,005
18	6,6	2,0	0,4	0,7	0,2	3,04	4,5	0,4	0,01	0,025	24	27	0,092	0,064	0,01	0,006
25	6,5	1,9	0,5	0,7	0,2	3,13	4,9	0,4	0,02	0,035	27	33	0,135	0,077	0,01	0,006
7 2	6,6	1,9	0,4	0,7	0,2	3,13	4,6	---	<0,01	0,024	24	46	0,266	0,10	0,008	0,005
9	6,7	1,9	0,4	0,7	0,2	3,50	4,5	0,4	<0,01	0,029	19	25	0,113	0,06	0,011	0,004
16	6,3	1,8	0,4	0,8	0,2	2,79	4,9	0,4	0,02	0,030	21	32	0,297	0,08	0,008	0,011
23	6,6	1,9	0,4	0,7	0,1	3,42	5,1	0,4	<0,01	0,025	22	23	0,274	0,08	0,010	0,008
30	6,6	1,9	0,4	0,6	0,2	3,00	4,7	0,4	<0,01	0,033	20	28	0,123	0,10	0,009	0,005
8 6	6,5	1,9	0,4	0,8	0,2	3,04	5,1	0,4	0,08	0,036	27	22	0,176	0,08	0,008	0,006
13	6,5	1,9	0,3	0,7	0,2	3,25	5,4	0,3	<0,01	0,032	19	20	0,115	0,07	0,010	0,004
20	6,6	2,1	0,4	0,8	0,2	3,84	4,5	0,3	<0,01	0,045	20	17	0,105	0,08	0,009	0,005
27	6,4	2,2	0,5	0,9	0,2	4,09	4,5	0,3	<0,01	0,030	22	28	0,231	0,10	0,009	0,004
9 3	6,3	2,1	0,5	0,8	0,2	4,17	4,5	0,4	<0,01	0,032	22	20	0,106	0,12	0,009	0,004
10	6,5	2,2	0,5	0,8	0,2	4,38	4,3	0,4	<0,01	0,030	22	22	0,132	0,12	0,008	0,004
17	6,6	2,2	0,5	0,9	0,2	4,67	4,3	0,3	<0,01	0,033	23	15	0,200	0,12	0,007	0,005
24	6,6	2,2	0,5	0,9	0,2	5,80	4,6	0,4	<0,01	0,036	22	15	0,090	0,12	0,005	0,004
10 1	6,6	2,3	0,5	0,9	0,2	4,75	4,4	0,4	<0,01	0,032	22	15	0,082	0,14	0,007	0,003
8	6,6	2,2	0,5	0,8	0,2	4,42	4,5	0,3	<0,01	0,031	22	20	0,135	0,14	<0,01	0,007
15	6,4	2,3	0,5	0,9	0,2	4,25	4,5	0,4	<0,01	0,039	21	21	0,113	0,16	<0,01	0,007
22	6,5	2,2	0,5	0,9	0,2	4,42	4,5	0,5	<0,01	0,042	23	22	0,132	0,11	<0,01	0,008
29	6,6	2,2	0,5	0,9	0,2	4,50	4,4	0,4	<0,01	0,041	22	24	0,105	0,11	<0,01	0,004
11 5	6,6	2,3	0,5	0,9	0,2	4,88	3,7	0,4	<0,01	0,044	24	18	0,080	0,12	<0,01	0,004
12	6,6	2,2	0,5	0,7	0,2	4,71	4,3	0,4	0,05	0,038	24	20	0,130	0,10	0,01	0,005
19	6,3	2,5	0,5	0,9	0,2	4,88	4,6	0,4	0,01	0,041	24	16	0,081	0,11	<0,01	0,004
26	6,4	2,5	0,5	0,9	0,2	5,13	4,4	0,4	0,04	0,041	24	13	0,084	0,10	<0,01	0,004
12 3	6,5	2,6	0,6	1,1	0,3	6,55	4,6	0,5	0,03	0,063	27	19	0,265	0,14	<0,01	0,011
10	6,3	2,6	0,6	1,0	0,2	5,92	4,7	0,5	0,04	0,060	26	16	0,094	0,13	0,01	0,008
17	6,3	2,7	0,6	1,1	0,2	6,09	4,4	0,5	0,04	0,049	28	16	0,074	0,12	0,01	0,006
23	6,4	2,6	0,6	1,0	0,2	6,13	4,7	0,6	0,04	0,050	27	13	0,120	0,14	0,01	0,005

Données de laboratoire de l'exutoire du lac Laflamme (1985)

Date	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	AlcG mg/l	SO_4 mg/l	Cl mg/l	NO_3 mg/l	P mg/l	COND µS/cm	COUL unité	Al mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Zn mg/l
85 1 3	---	2,7	0,6	1,0	0,1	----	4,8	0,4	----	0,042	--	--	0,084	0,13	0,02	0,004
8	6,2	2,8	0,6	1,2	0,2	5,50	5,0	0,4	0,15	-----	28	14	0,096	0,12	0,01	0,004
15	6,1	2,8	0,6	1,2	0,2	6,59	4,4	0,3	0,11	0,042	30	7	0,096	0,12	0,02	0,004
22	6,2	3,2	0,7	1,3	0,3	8,30	5,0	0,4	0,14	0,061	33	8	0,220	0,18	0,03	0,007
29	6,6	3,3	0,7	1,4	0,3	8,47	5,6	0,5	0,12	0,054	35	20	0,200	0,18	0,03	0,006
2 5	6,3	3,5	0,8	1,4	0,3	9,05	5,6	0,5	0,10	0,065	36	11	0,155	0,20	0,04	0,006
12	6,7	3,8	0,8	1,4	0,3	9,88	5,6	0,5	0,16	0,052	37	19	0,103	0,23	0,04	0,004
19	I	3,7	0,8	1,3	0,3	I	5,0	0,4	0,15	0,048	40	17	0,089	0,26	0,06	0,005
26	6,0	3,4	0,7	1,2	0,3	10,30	4,6	0,5	0,12	0,048	35	19	0,084	0,32	0,07	0,005
3 6	6,4	3,4	0,7	1,3	0,3	8,34	4,4	0,4	0,15	0,049	35	16	0,135	0,31	0,05	0,004
12	6,3	3,2	0,7	1,2	0,2	8,42	4,3	0,3	0,19	0,052	33	13	0,062	0,23	0,04	0,003
19	6,2	2,9	0,6	1,1	0,2	9,26	4,3	0,3	0,18	0,045	33	16	0,069	0,24	0,04	0,004
26	5,8	3,3	0,6	1,1	0,2	5,17	9,6	0,3	0,27	0,043	36	14	0,103	0,36	0,06	0,004
4 2	6,4	3,4	0,7	1,1	0,2	10,43	4,2	0,4	0,16	0,047	33	14	0,073	0,29	0,04	0,011
9	6,3	3,6	0,7	1,3	0,2	10,01	4,3	0,4	0,18	0,057	32	21	0,083	0,38	0,07	0,005
16	5,9	2,1	0,4	0,7	0,2	3,29	4,6	0,3	0,39	0,028	25	13	0,046	0,24	0,07	0,005
23	5,9	3,1	0,7	1,2	0,3	8,21	5,3	0,5	0,42	0,042	34	37	0,046	0,27	0,07	0,006
30	5,4	1,6	0,3	0,6	0,4	1,21	---	0,4	0,38	0,037	20	33	0,165	0,15	0,05	0,007
5 7	5,9	1,5	0,3	0,5	0,3	1,75	3,9	0,3	0,35	0,025	18	24	0,137	0,099	0,04	0,006
14	5,3	1,7	0,3	0,6	0,4	1,50	4,7	0,4	0,23	0,032	20	23	0,135	0,12	0,04	0,007
21	5,7	1,7	0,3	0,7	0,3	2,75	4,7	0,4	0,15	0,033	20	29	0,124	0,13	0,03	0,007
28	6,5	1,8	0,4	0,5	0,2	3,54	4,3	0,4	0,08	0,028	19	28	0,153	0,14	0,03	0,009
6 4	6,3	1,8	0,3	0,5	0,2	2,96	4,5	0,4	0,03	0,024	18	I	0,173	0,088	0,02	0,007
11	6,6	2,0	0,4	0,7	0,3	3,34	4,5	0,4	0,01	0,024	21	21	0,083	0,059	0,01	0,004
18	6,0	1,7	0,4	0,7	0,2	I	4,7	0,4	0,02	0,021	22	23	0,119	0,070	0,01	0,005
25	6,5	1,9	0,4	0,6	0,2	2,84	4,7	0,4	0,02	0,024	22	29	0,100	0,062	0,01	0,004
7 2	6,6	1,8	0,4	0,7	0,2	3,46	4,5	---	<0,01	0,047	26	39	0,284	0,07	0,011	0,003
9	6,7	1,8	0,4	0,7	0,2	3,00	4,5	0,4	<0,01	0,022	19	25	0,167	0,06	0,009	0,005
16	6,2	1,8	0,3	0,7	0,2	2,79	4,9	0,4	0,02	0,026	19	28	0,128	0,07	0,010	0,005
23	6,5	1,8	0,4	0,6	0,1	2,59	4,9	0,4	<0,01	0,025	21	30	0,191	0,07	0,009	0,006
30	6,6	1,7	0,4	0,6	0,1	2,42	4,5	0,3	<0,01	0,025	19	28	0,117	0,08	0,008	0,004
8 6	6,5	1,8	0,4	0,7	0,1	2,79	5,1	0,3	<0,01	0,022	17	22	0,112	0,09	0,010	0,004
13	6,5	1,9	0,3	0,7	0,1	2,92	5,5	0,3	<0,01	0,032	17	24	0,131	0,07	0,009	0,004
20	6,4	2,0	0,4	0,8	0,1	2,96	4,6	0,4	<0,01	0,029	21	20	0,086	0,09	0,008	0,004
27	6,4	2,1	0,5	0,8	0,2	4,00	4,5	0,3	<0,01	0,030	21	24	0,173	0,11	0,010	0,004
9 3	6,3	2,0	0,5	0,8	0,2	3,63	4,5	0,3	<0,01	0,032	20	20	0,088	0,11	0,006	0,003
10	6,5	2,1	0,5	0,8	0,1	4,00	4,3	0,3	<0,01	0,031	21	18	0,100	0,11	0,008	0,003
17	6,6	2,0	0,5	0,9	0,2	3,75	4,3	0,3	<0,01	0,031	21	15	0,070	0,11	0,007	0,002
24	6,5	2,2	0,5	0,9	0,2	5,34	4,6	0,3	<0,01	0,031	22	15	0,094	0,11	0,006	0,003
10 1	6,5	2,3	0,5	0,8	0,2	4,46	4,6	0,3	<0,01	0,027	21	15	0,073	0,12	0,006	0,003
8	6,5	2,1	0,5	0,8	0,2	4,09	4,4	0,3	<0,01	0,031	21	25	0,334	0,16	0,01	0,006
15	6,3	2,3	0,5	0,8	0,2	4,04	4,2	0,5	<0,01	0,032	21	21	0,207	0,13	<0,01	0,005
22	6,5	2,1	0,5	0,9	0,2	4,04	4,4	0,4	<0,01	0,038	22	15	0,113	0,12	<0,01	0,004
29	6,5	2,1	0,5	0,9	0,2	4,17	4,4	0,4	<0,01	0,038	22	20	0,162	0,12	<0,01	0,004
11 5	6,6	2,3	0,5	0,9	0,2	4,46	3,7	0,4	<0,01	0,042	23	18	0,096	0,11	<0,01	0,004
12	6,6	2,5	0,5	0,8	0,2	4,25	4,9	0,4	0,05	0,041	26	20	0,089	0,10	<0,01	0,004
19	6,4	2,3	0,5	0,8	0,2	5,09	4,5	0,4	0,03	0,043	23	13	0,080	0,10	<0,01	0,004
26	6,3	2,6	0,5	1,0	0,2	4,71	4,9	0,4	0,06	0,046	25	13	0,103	0,09	0,01	0,005
12 3	6,6	2,6	0,6	1,0	0,2	6,21	5,3	0,4	0,06	0,056	26	16	0,100	0,10	0,01	0,005
10	6,2	2,8	0,7	1,1	0,2	6,67	5,8	0,5	0,06	0,065	29	16	0,125	0,11	0,01	0,005
17	6,2	2,9	0,6	1,1	0,2	5,84	5,3	0,5	0,07	-----	26	16	0,129	0,10	0,01	0,006
23	6,3	2,8	0,6	1,0	0,2	6,21	5,4	0,4	0,07	0,062	29	13	0,113	0,12	0,01	0,005
31	---	---	---	---	---	----	---	---	----	-----	--	--	-----	----	----	-----

Données de laboratoire du lac Laflamme (1986)

Date	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	AlcG mg/l	SO_4 mg/l	Cl mg/l	NO_3 mg/l	P mg/l	COND µS/cm	COUL unité	Al mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Zn mg/l
86 1 7	6,5	2,8	0,6	1,1	0,2	7,17	4,3	0,4	0,08	0,035	27	30	0,169	0,14	0,02	0,008
14	6,7	2,8	0,6	1,0	0,3	6,92	5,9	0,4	0,07	0,038	28	20	0,071	0,15	0,02	0,007
21	6,5	2,9	0,6	1,0	0,3	7,92	4,4	I	0,08	0,039	28	20	0,125	0,14	0,02	0,007
30	6,3	3,0	0,6	1,0	0,2	7,17	4,1	0,4	0,14	0,040	28	21	0,130	0,19	0,02	0,006
2 4	6,4	2,9	0,6	I	I	6,26	4,9	I	0,12	0,046	31	20	0,109	0,13	0,02	0,008
11	6,4	2,7	0,6	1,0	0,2	6,92	4,6	0,5	0,11	0,044	29	21	0,070	0,14	0,02	0,005
18	6,5	2,9	0,6	1,1	0,2	6,84	4,8	0,6	0,13	0,064	30	25	0,179	0,14	0,02	0,012
25	6,5	3,1	0,6	1,3	0,2	7,30	4,0	0,5	0,12	0,060	I	25	0,155	0,16	0,02	0,006
3 4	6,5	3,1	0,6	1,2	0,2	7,13	4,0	0,4	0,13	0,065	30	25	0,100	0,18	0,02	0,008
13	6,6	3,0	0,7	1,2	0,3	7,42	3,5	0,5	0,17	0,072	31	23	0,064	0,13	0,03	0,009
18	6,3	3,1	0,7	1,0	0,3	7,84	3,6	0,4	0,21	0,066	30	22	0,067	0,14	0,02	0,008
25	6,4	3,1	0,7	1,1	0,3	7,84	4,7	0,5	0,18	0,068	32	23	0,097	0,165	0,031	0,009
4 3	6,2	3,1	0,7	0,9	0,22	8,01	4,5	0,4	0,22	0,047	30	17	0,122	0,301	0,042	0,005
8	6,3	3,0	0,6	0,9	0,36	6,88	3,8	0,4	----	0,048	28	15	0,072	0,206	0,044	0,006
15	6,5	3,2	0,6	1,1	0,45	7,30	4,5	0,4	0,19	0,060	28	20	0,069	0,198	0,048	0,009
22	6,2	2,4	0,5	0,8	0,37	5,80	3,5	0,4	0,18	0,049	23	24	0,198	0,201	0,044	0,011
29	6,3	2,1	0,5	0,7	0,33	4,84	2,3	0,4	0,11	0,038	22	28	0,165	0,198	0,044	0,006
5 6	6,2	2,0	0,4	0,7	0,40	4,25	4,1	0,4	0,13	0,047	19	40	0,094	0,176	0,052	0,007
13	6,4	2,0	0,4	0,7	0,31	4,42	4,0	0,4	0,04	0,042	21	26	0,081	0,187	0,040	0,006
20	6,4	2,0	0,4	0,7	0,26	3,71	3,8	0,4	0,03	0,038	20	38	0,081	0,099	0,031	0,006
27	6,2	1,9	0,3	0,6	0,44	2,38	4,2	0,4	0,03	0,041	18	48	0,126	0,097	0,038	0,006
6 2	6,3	1,8	0,4	0,8	0,38	2,71	4,2	0,5	<0,01	0,035	19	43	0,111	0,062	0,027	0,006
10	6,5	1,9	0,5	0,8	0,36	2,71	4,4	0,6	<0,01	0,028	18	40	0,106	0,068	0,021	0,004
17	6,2	1,9	0,4	0,8	0,32	2,54	4,1	0,4	0,02	0,051	19	47	0,114	0,097	0,025	0,006
25	6,1	1,9	0,5	0,8	0,33	2,67	3,8	0,6	0,02	0,026	19	41	0,111	0,087	0,022	0,004
7 2	6,5	1,9	0,5	0,8	0,29	2,50	4,3	0,4	0,02	0,034	19	42	0,132	0,092	0,015	0,005
8	6,2	1,8	0,4	0,7	0,27	2,17	4,4	0,5	0,01	0,034	18	46	0,159	0,128	0,017	0,005
15	6,3	1,8	0,4	0,7	0,25	2,04	4,3	0,4	0,02	0,033	19	40	0,158	0,102	0,017	0,005
22	6,5	1,9	0,5	0,8	0,18	2,79	4,8	0,5	<0,01	0,036	19	40	0,165	0,216	0,025	0,005
29	6,3	2,0	0,5	0,8	0,20	3,09	4,8	0,3	<0,01	0,026	20	40	0,174	0,190	0,024	0,006
8 5	6,5	2,0	0,5	0,8	0,17	3,17	4,3	0,4	<0,01	0,028	20	35	0,137	0,100	0,019	0,004
12	6,6	2,1	0,5	0,8	0,19	3,63	4,5	0,4	<0,01	0,029	21	36	0,146	0,161	0,023	0,005
19	6,5	2,0	0,5	0,8	0,18	3,38	4,3	0,4	<0,01	0,028	20	33	0,117	0,109	0,016	0,004
26	6,5	2,0	0,5	0,8	0,19	3,25	4,3	0,5	<0,01	0,020	20	28	0,119	0,105	0,018	0,004
9 2	6,6	2,0	0,5	0,8	0,16	3,84	4,6	0,4	<0,01	0,023	20	30	I	0,168	0,016	0,007
9	6,7	2,1	0,5	0,8	0,16	4,22	4,4	0,4	<0,01	0,027	21	30	0,095	0,205	0,014	0,004
16	6,8	2,0	0,5	0,8	0,15	4,15	4,6	0,4	<0,01	0,031	20	30	0,109	0,174	0,013	0,004
23	6,9	2,0	0,5	0,8	0,17	3,95	4,3	0,4	<0,01	0,027	22	34	0,102	0,141	0,012	0,004
30	6,5	2,2	0,6	0,9	0,18	4,34	4,3	0,4	<0,01	0,023	21	21	0,104	0,134	0,012	0,005
10 7	6,9	2,1	0,6	0,9	0,16	4,44	4,2	0,4	<0,01	0,027	21	28	0,097	0,143	0,009	0,004
14	6,8	2,2	0,5	0,8	0,18	4,63	4,1	0,4	0,01	0,035	22	29	0,086	0,127	0,008	0,003
21	6,8	2,2	0,5	0,9	0,15	4,58	4,2	0,4	0,02	0,033	22	27	0,086	0,121	0,009	0,003
28	6,8	2,2	0,5	0,8	0,16	4,74	4,1	0,4	0,01	0,048	23	23	0,080	0,126	0,009	0,003
11 4	6,6	2,3	0,5	0,9	0,16	4,92	4,2	0,4	0,02	0,049	23	20	0,085	0,083	0,009	0,003
11	6,8	2,4	0,5	0,9	0,20	5,18	4,2	0,3	0,02	0,047	23	25	0,081	0,114	0,008	0,003
19	6,8	2,4	0,5	1,0	0,24	5,36	4,4	0,4	0,04	0,049	24	24	0,085	0,109	0,010	0,004
25	6,6	2,5	0,5	0,9	0,17	5,44	4,5	0,4	0,04	0,048	24	22	0,118	0,095	0,014	0,007
12 2	I	2,5	0,5	1,0	0,18	5,94	4,4	0,4	0,05	0,052	25	26	0,078	0,110	0,014	0,005
9	6,7	2,6	0,6	1,0	0,22	6,25	4,5	0,4	0,05	0,050	26	25	0,075	0,121	0,018	0,004
16	6,6	2,7	0,6	I	I	6,74	4,1	0,4	0,05	0,056	29	26	0,074	0,133	0,019	0,013
22	6,6	2,7	0,6	1,0	0,20	6,86	4,0	0,4	0,06	0,057	28	26	0,068	0,143	0,019	0,004
30	6,7	2,7	0,6	1,1	0,22	6,99	4,4	0,4	0,06	0,054	27	23	0,068	0,127	0,019	0,008

Données de laboratoire de l'exutoire du lac Laflamme (1986)

Date	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	AlcG mg/l	SO_4 mg/l	Cl mg/l	NO_3 mg/l	P mg/l	COND µS/cm	COUL unité	Al mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Zn mg/l
86 1 7	6,4	2,8	0,6	1,2	0,2	6,92	4,9	0,4	0,06	0,040	27	23	0,195	0,11	0,02	0,007
14	6,8	2,9	0,6	1,1	0,2	6,84	5,1	I	0,09	0,042	28	20	0,149	0,11	0,02	0,006
21	6,5	2,9	0,6	1,0	0,2	7,80	4,7	0,4	0,08	0,043	28	20	0,163	0,11	0,03	0,006
30	6,2	2,8	0,6	0,9	0,2	6,55	4,4	0,4	0,07	0,042	26	25	0,101	0,12	0,02	0,005
2 4	6,5	2,4	0,5	0,9	0,2	6,04	5,2	0,4	0,19	0,040	25	20	0,086	0,12	0,03	0,005
11	6,3	I	0,5	0,9	0,2	5,38	4,9	0,4	0,11	0,055	26	24	0,337	0,14	0,03	0,007
18	6,5	2,7	0,6	0,9	0,2	5,88	4,8	0,4	0,14	0,063	27	18	0,114	0,13	0,03	0,006
25	6,6	2,9	0,6	1,2	0,3	6,38	4,8	0,5	0,14	0,060	I	22	0,146	0,14	0,04	0,006
3 4	6,4	3,1	0,6	1,2	0,3	7,34	4,8	0,4	0,12	0,063	28	25	0,085	0,20	0,04	0,005
13	6,5	3,1	0,7	1,1	0,3	8,00	4,3	0,4	0,14	0,063	32	23	0,111	0,27	0,05	0,005
18	6,4	3,1	0,7	1,1	0,3	8,30	4,0	0,4	0,17	0,067	31	22	0,071	0,30	0,06	0,004
25	6,4	3,2	0,7	1,0	0,3	9,30	4,7	0,4	0,14	0,066	32	23	0,310	0,34	0,061	0,007
4 3	I	2,4	0,4	0,6	0,16	I	4,5	0,3	0,45	0,036	40	12	0,043	0,16	0,045	0,006
8	6,2	2,0	0,4	0,5	0,22	2,63	3,6	0,3	0,45	0,034	21	12	0,310	0,119	0,038	0,008
15	6,4	2,6	0,5	0,8	0,39	5,21	4,1	0,3	0,24	0,042	24	12	0,100	0,138	0,048	0,005
22	6,0	1,9	0,4	0,6	0,33	2,50	3,4	0,3	0,24	0,043	19	24	0,128	0,097	0,040	0,005
29	6,0	1,7	0,3	0,4	0,37	1,29	3,1	0,4	0,11	0,032	16	32	0,115	0,088	0,042	0,004
5 6	5,4	1,0	0,2	0,3	0,33	0,42	3,4	0,4	0,03	0,032	12	44	0,310	0,088	0,042	0,006
13	6,4	1,9	0,4	0,7	0,33	3,67	4,1	0,4	0,03	0,036	19	26	0,085	0,143	0,036	0,004
20	6,4	1,7	0,4	0,6	0,26	2,54	4,1	0,4	0,04	0,034	19	45	0,097	0,090	0,027	0,004
27	6,3	1,9	0,3	0,6	0,42	2,00	4,2	0,4	0,01	0,031	18	41	0,108	0,064	0,031	0,004
6 2	6,3	1,8	0,3	0,7	0,32	2,29	4,1	0,4	<0,01	0,029	18	36	0,100	0,053	0,022	0,004
10	6,4	1,8	0,5	0,7	0,32	2,63	4,5	0,4	<0,01	0,025	19	37	0,104	0,065	0,014	0,003
17	6,1	1,8	0,4	0,7	0,28	2,09	4,3	0,3	0,01	0,029	18	43	0,111	0,080	0,017	0,004
25	6,0	1,8	0,5	0,7	0,27	2,17	3,9	0,4	0,01	0,024	18	44	0,108	0,081	0,017	0,004
7 2	6,5	1,8	0,4	0,7	0,26	2,04	4,4	0,4	0,01	0,025	18	39	0,146	0,090	0,015	0,004
8	6,2	1,7	0,4	0,7	0,22	1,75	4,4	0,4	<0,01	0,032	17	42	0,172	0,106	0,017	0,005
15	6,3	1,7	0,4	0,7	0,20	1,96	4,1	0,4	0,01	0,030	18	40	0,139	0,103	0,016	0,004
22	6,5	1,7	0,4	0,7	0,17	2,25	4,6	0,4	<0,01	0,026	18	32	0,135	0,091	0,018	0,004
29	6,4	1,8	0,5	0,7	0,19	2,50	4,4	I	<0,01	0,020	18	32	0,118	0,094	0,024	0,004
8 5	6,5	1,8	0,5	0,8	0,16	2,84	4,2	0,4	<0,01	0,025	19	32	0,126	0,095	0,014	0,004
12	6,5	1,9	0,5	0,7	0,18	2,54	4,5	0,4	<0,01	0,022	19	32	0,113	0,102	0,012	0,003
19	6,5	1,8	0,5	0,8	0,13	2,79	4,2	0,4	<0,01	0,023	19	30	0,110	0,096	0,017	0,003
26	6,5	1,9	0,5	0,8	0,15	2,92	4,5	0,4	<0,01	0,019	20	28	0,107	0,105	0,014	0,003
9 2	6,8	1,9	0,5	0,8	0,15	3,25	4,4	0,4	<0,01	0,018	19	30	0,101	0,156	0,013	0,003
9	6,7	2,0	0,5	0,8	0,15	3,68	4,4	0,4	<0,01	0,019	20	33	0,103	0,138	0,011	0,003
16	6,7	1,9	0,5	0,8	0,13	4,38	4,6	0,4	<0,01	0,022	20	30	0,099	0,133	0,012	0,003
23	6,8	1,9	0,5	0,8	0,15	3,36	4,2	0,4	<0,01	0,023	20	34	0,112	0,140	0,012	0,003
30	6,6	2,0	0,5	0,8	0,19	3,62	4,3	0,4	<0,01	0,022	20	32	0,093	0,104	0,011	0,003
10 7	6,8	2,1	0,5	0,9	0,15	4,21	4,4	0,4	<0,01	0,026	21	28	0,092	0,114	0,007	0,003
14	6,8	2,1	0,5	0,8	0,16	4,26	4,1	0,4	0,01	0,027	21	25	0,084	0,098	0,008	0,003
21	6,7	2,1	0,5	0,8	0,15	4,37	4,2	0,4	0,01	0,031	21	27	0,083	0,094	0,005	0,003
28	6,8	2,2	0,5	0,8	0,13	4,40	4,0	0,4	0,01	0,044	22	23	0,091	0,093	0,007	0,003
11 4	6,7	2,3	0,5	0,9	0,15	4,92	4,2	0,4	0,04	0,047	23	20	0,087	0,086	0,004	0,003
11	6,7	2,4	0,5	1,0	0,16	4,99	4,8	0,4	0,05	0,051	24	21	0,089	0,083	0,008	0,003
19	6,7	2,4	0,5	0,9	0,14	4,33	4,8	0,4	0,06	0,052	23	28	0,095	0,101	0,010	0,004
25	6,4	2,4	0,5	0,9	0,16	4,89	4,8	0,4	0,07	0,055	23	22	0,144	0,083	0,011	0,004
12 2	6,9	2,3	0,5	1,0	0,16	5,10	4,6	0,4	0,07	0,054	23	22	0,104	0,063	0,012	0,004
9	6,6	2,3	0,5	1,0	0,16	4,84	4,5	0,3	0,08	0,052	24	21	0,077	0,076	0,006	0,003
16	6,6	2,3	0,5	1,0	0,16	4,96	4,4	0,3	0,07	0,055	24	18	-----	-----	-----	-----
22	6,6	2,4	0,5	1,0	0,16	5,14	4,3	0,3	0,07	0,054	24	19	0,074	0,084	0,015	0,003
30	6,7	2,5	0,5	1,0	0,18	5,77	4,6	0,3	0,06	0,052	24	23	0,066	0,079	0,015	0,003

ANNEXE 2.

Paramètres échantillonnés aux deux mois

Date	COD mg/l	CID mg/l	SiO_2 mg/l	NH_3 mgN/l	SO_4 mg/l
85 5 28	4,9	0,8	4,63	<0,01	3,78
85 7 30	5,3	0,4	3,61	0,018	4,03
85 10 1	4,3	1,4	3,71	0,020	3,93
85 11 26	2,0	2,8	5,44	0,025	4,01
86 1 30	2,9	1,6	7,36	0,032	3,80
86 4 3	2,4	1,9	7,60	0,058	3,65
86 6 2	5,5	3,9	3,85	0,024	4,06
86 7 29	4,9	0,5	3,79	0,026	4,04
86 9 30	4,1	0,1	5,12	0,013	3,63
86 11 25	3,5	0,3	6,20	0,042	3,42